

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

PROYECTO FIN DE CARRERA

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos



ATEMPERADORES DE CONTACTO DIRECTO

Autor: María Muñoz Sánchez

Tutor: Domingo José Santana Santana

Leganés, 30 de Septiembre de 2010



Agradecimientos

A mi familia y amigos, por caminar siempre a mi lado durante todos estos años.

A mis compañeros de la Universidad Carlos III, porque juntos compartimos los momentos más alegres pero también los más duros.

A mis compañeros de Técnicas Reunidas, en especial a José Antonio y Enrique por darme la oportunidad de formar y sentirme parte de su equipo, y a David, sin el cual este proyecto no hubiera sido posible.

A mi tutor Domingo y al departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos por darme la oportunidad de realizar este proyecto con ellos.

A todos, muchas gracias.

Resumen

El petróleo sigue siendo hoy en día el recurso energético más empleado en el mundo desarrollado. Por ello, los esfuerzos en mejorar sus procesos de tratamiento y refino siguen en auge. Como parte de estos procesos se encuentra el aprovechamiento de los recursos que se usan para mejorar las propiedades de los productos en las refinerías de petróleo. Uno de ellos es la unidad de regeneración de aminas, por medio de la cual se recupera parte de la amina usada en el proceso de endulzamiento del petróleo, para su posterior reciclo, de manera que optimizamos en gastos y contribuimos en el aprovechamiento de los recursos del planeta.

Para llevar a cabo el proceso de la manera más eficaz y aprovechando todos los recursos que la refinería nos ofrece, se complementa la unidad de aminas con un atemperador de contacto directo.

La atemperación, es un proceso por medio del cual se condiciona vapor de agua sobresaturada para su posterior uso en las diferentes unidades en las que se requiera. Así, el atemperador en la unidad de aminas acondicionará el vapor de agua sobrecalentada de baja presión hasta un punto cercano a su saturación, de modo que al paso por el hervidor

ceda todo su calor latente de vaporización al flujo que lo atraviesa, condensando sus partes más volátiles y dejando escapar las menos volátiles (amina regenerada), que se volverán a recircular en la unidad correspondiente para el endulzamiento.

Para lograr que el proceso sea el deseado se debe poner especial atención en los requerimientos de la unidad y en el lazo de control interno al atemperador. El desrecalentamiento es un proceso que si no es estudiado adecuadamente puede causar muchos problemas. Se debe de realizar una evaluación del sistema considerando variables como la velocidad, el tamaño de las partículas inyectadas, el salto entálpico, etc.

Una vez realizado el estudio previo elegimos entre el amplio abanico de posibilidades con el que actualmente se cuenta. Así, los tipos de atemperadores se dividen en dos grandes grupos: los que usan la atomización mecánica impulsando el refrigerante a través de unos inyectores a presión en el vapor, o aquellos que utilizan la energía cinética del vapor para realizar la mezcla perfecta.

Debido a las especificaciones de nuestro sistema, sólo son viables los atemperadores del segundo grupo. Dentro de ellos, los atemperadores modelo VAD tipo Venturi cumplen en principio con el cometido.

Tras realizar las comprobaciones pertinentes se llega a la conclusión de que el modelo VAD es el adecuado tanto en operación como en coste económico.

Como hemos podido observar tras el estudio realizado, todas y cada una de las partes de un sistema, por muy complejo que sea, son vitales para su eficaz funcionamiento y no debe escatimarse en esfuerzo y recursos para dimensionarlo de la manera más idónea.



Índice general

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 Introducción	1
1.2 Formas de desrecalentar	3
1.2.1 Tipo “sin contacto directo”	3
1.2.2 Tipo “de contacto directo”	5
1.3 Calidad del líquido refrigerador	7
1.4 Objetivos	8
ATEMPERADORES EN EL MARCO DE UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO	9
2.1 Introducción	9
2.2 Refino de petróleo	12
2.2.1 Fraccionamiento y refino del petróleo crudo	15
2.2.2 Unidades de conversión.....	22
2.3 Productos del petróleo.....	32



2.4	Realidad del desrecalentador en una refinería de petróleo.....	35
2.4.1	<i>Atemperadores como laminadores de vapor de agua.....</i>	<i>41</i>
2.4.2	<i>Atemperadores para aporte de calor en procesos de planta.....</i>	<i>43</i>
DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....		46
3.1	Métodos de atemperar de tipo “de contacto directo”	46
3.2	Tipos de atemperadores “de contacto directo”.....	50
3.2.1	<i>Desrecalentadores en base al Principio 1</i>	<i>50</i>
3.2.2	<i>Desrecalentadores en base al Principio 2</i>	<i>61</i>
3.3	Selección del desrecalentador	69
3.4	Funcionamiento general del desrecalentador	72
NECESIDADES Y BASES DE DISEÑO.....		74
4.1	Introducción	74
4.2	Bases de diseño	76
4.2.1	<i>Temperatura y Presión</i>	<i>76</i>
4.2.2	<i>Velocidad</i>	<i>79</i>
4.2.3	<i>Masa.....</i>	<i>80</i>
4.2.4	<i>Geometría</i>	<i>80</i>
4.2.5	<i>Calidad de agua.....</i>	<i>81</i>
4.2.6	<i>Camisas térmicas.....</i>	<i>81</i>
4.2.7	<i>Distancia al sensor de temperatura.....</i>	<i>82</i>
4.2.8	<i>Control de la temperatura</i>	<i>82</i>
4.3	Requerimientos de la planta	87
4.3.1	<i>Vapor a ser desrecalentado</i>	<i>89</i>
4.3.2	<i>Líquido refrigerador y vapor atomizado</i>	<i>91</i>
4.3.3	<i>Tuberías</i>	<i>91</i>
4.3.4	<i>Otras consideraciones</i>	<i>95</i>
4.4	Conclusión en la elección del atemperador.....	96
TAMAÑO Y SELECCIÓN DEL DESRECALENTADOR TIPO VENTURI.....		98
5.1	Introducción	98
5.2	Tamaño del desrecalentador.....	100
5.3	Comprobaciones previas	103
5.3.1	<i>Introducción.....</i>	<i>103</i>



5.3.2	<i>Componentes de la línea</i>	106
5.3.3	<i>Ecuación de continuidad en una tubería</i>	108
5.3.4	<i>Pérdidas de carga en la tubería del vapor principal</i>	110
5.3.5	<i>Flujo límite de vapor en la tubería</i>	121
5.4	<i>Instalación</i>	123
5.4.1	<i>Recomendaciones del fabricante</i>	123
5.4.2	<i>Conexión del equipo al entramado de tuberías</i>	128
5.4.3	<i>Componentes adicionales</i>	132
5.5	<i>Conclusión</i>	135
CONCLUSIONES		137
BIBLIOGRAFÍA		139
ANEXO A-TABLAS DE RESULTADOS		141
ANEXO B - HOJAS DE DATOS Y PLANOS		145

Índice de figuras

Figura 1. Desrecalentador tipo “sin contacto directo”	4
Figura 2. Desrecalentador tipo “de contacto directo”	5
Figura 3. Composición media del petróleo	10
Figura 4. Estructura física de una refinería	12
Figura 5. Esquema típico de una refinería con alto grado de conversión	14
Figura 6. Temperaturas de vaporización de algunos componentes del petróleo.....	15
Figura 7. Tratamientos primarios de separación y refino.....	18
Figura 8. Desulfuración y endulzamiento de LPG mediante aminas y solución cáustica	21
Figura 9. Azufre a granel producto de la desulfuración.....	22
Figura 10. Esquema simplificado del “Fluid cocking”	25
Figura 11. Esquema simplificado del “Flexicocking”, con gasificación conjunta.....	26
Figura 12. Esquema del proceso “Flexicracking”	28

Figura 13. Esquema de un “cracker” catalítico FCC con la columna de fraccionamiento y unidad de ligeros	29
Figura 14. Esquema simplificado de un “hidrocracker” de una única etapa.....	31
Figura 15. Productos del petróleo	33
Figura 16. Relación entre temperatura y entalpía para el agua	36
Figura 17. Relación entre temperatura y presión para el agua.....	37
Figura 18. Composición entálpica de vapor sobrecalentado a 10 [bar] y 300[°C].....	38
Figura 19. Composición entálpica de vapor sobrecalentado a 170 [bar] y 585[°C].....	40
Figura 20. Ejemplo de laminación de vapor sobresaturado por medio de atemperadores	42
Figura 21. Cabeza de columna estabilizadora y unidad de aminas.....	43
Figura 22. Diagrama de flujo del desrecalentador integrado en la unidad de aminas.....	45
Figura 23. Atomizador mecánico MA	51
Figura 24. Principio del sistema para DSH que atomizan mecánicamente.....	53
Figura 25. DSH con varias boquillas (SAMN)	54
Figura 26. DSH con varias boquillas (MNSD)	55
Figura 27. Modo de actuación de DSH con varias boquillas MNSD	56
Figura 28. DSH MNSD en funcionamiento	56
Figura 29. Principio del sistema para DSH con varias boquillas.....	57
Figura 30. Desrecalentador con vapor atomizado SA-35	59
Figura 31. Principio del sistema para DSH con vapor atomizado	61
Figura 32. Desrecalentador tipo Venturi	62
Figura 33. Desrecalentador tipo Venturi VAD	63
Figura 34. Principio de funcionamiento en DSH tipo VAD	64
Figura 35. Desrecalentador de orificio variable (VO)	66
Figura 36. Principio del sistema para DSH VO	69
Figura 37. Evolución de las líneas del agua y del vapor en el proceso de desrecalentamiento	75
Figura 38. Relación entre el tamaño de las gotas y la caída de presión a través del orificio	78
Figura 39. Balance energético del sistema.....	83
Figura 40. Proceso general del estado estacionario	84



Figura 41. Esquema diagrama de la unidad	87
Figura 42. Sección transversal de una tubería.....	93
Figura 43. Dimensiones y peso de tuberías según ANSI B 36.10	94
Figura 44. Pesos VAD con brida o soldadura a tope	101
Figura 45. Dimensiones VAD con bridas o soldadura a tope	102
Figura 46. Dimensionamiento de la instalación	103
Figura 47. Tramos de tubería para la instalación del DSH	106
Figura 48. Dimensionamiento ampliadores/reductores según ASME B 16.9	107
Figura 49. Balance de energía para dos puntos de un fluido	109
Figura 50. Diagrama de Moody	115
Figura 51. Conexión bridada.....	129
Figura 52. Bridas seleccionadas para las uniones del atemperador con las tuberías del refrigerante y del vapor	130
Figura 53. Pernos y tornillos seleccionados para la unión de brida y contrabrida en el lado del agua y en el lado del vapor.....	131
Figura 54. Junta espirometálica para las uniones bridadas del refrigerante y el vapor principal.....	132
Figura 55. Componentes adicionales a la instalación	133
Figura 56. Componentes de una válvula de control y aspecto externo de la misma.....	134
Figura 57. Montaje de una sonda o termómetro	135

Índice de tablas

Tabla 1. Atemperadores en base al Principio.....	47
Tabla 2. Atemperadores en base al Principio 2.....	48
Tabla 3. Principio de funcionamiento para DSH VO	68
Tabla 4. Tipos de atemperadores y sus características.....	71
Tabla 5. Hoja con los datos necesarios para el proceso	88
Tabla 6. Condiciones de temperatura y presión a la entrada del DSH.....	89
Tabla 7. Comparativa DSH tipos SA-35, SAMN y MNSD.....	90
Tabla 8. Comparativa DSH tipos VAD y VO.....	90
Tabla 9. Características de las tuberías de entrada y salida del DSH	91
Tabla 10. Características de la tubería antes de la válvula del agua	92
Tabla 11. Composición química del acero ASTM A106 Gr.B	93
Tabla 12. Equivalencias para clases, “ratings” y presiones [kg/cm ²]	95



Tabla 13. Comparativa de precios entre los modelos VAD y VO	97
Tabla 14. Condiciones iniciales de proceso	104
Tabla 15. Propiedades del vapor de entrada para el caso 1	105
Tabla 16. Propiedades del vapor de salida para el caso 1	105
Tabla 17. Propiedades del líquido refrigerante	105
Tabla 18. Dimensionamiento de las tuberías	107
Tabla 19. Rugosidad absoluta para diferentes materiales	112

Capítulo 1

Introducción y objetivos

1.1 Introducción

El desrecalentamiento es el acto de reducir la temperatura de un vapor sobrecalentado exponiéndolo a un líquido refrigerador a una temperatura más baja. El vapor sobrecalentado aporta calor al líquido refrigerador, de tal manera que se reduce su temperatura. El líquido refrigerador al absorber el calor dado por el vapor sobrecalentado aumentará su temperatura, y si el traspaso térmico es suficiente, el líquido refrigerador cambiará su estado a vapor.

La cantidad de líquido refrigerador requerida para alcanzar la reducción deseada en la temperatura del vapor sobrecalentado se determinará mediante una simple ecuación de

balance de energía, que considera el calor del vapor entrante, el calor del vapor que sale, y el calor del líquido refrigerador.

El control del aporte del líquido refrigerador al vapor sobrecalentado se consigue por medio de un lazo de control, que en su forma más simple consiste en un regulador de temperatura, una válvula de control del líquido refrigerador y un desrecalentador. El regulador de temperatura mide la temperatura aguas abajo y determina si está por encima o por debajo del punto de control deseado de tal manera que envía una señal al actuador de la válvula de control del líquido refrigerador para abrir o cerrar el mismo.

La válvula de control del líquido refrigerador, que responde al movimiento del actuador, será reajustada en función del aumento o disminución de la cantidad de líquido refrigerante que esté atravesando el desrecalentador.

La función del atemperador (DSH, “Desuperheater”) es, por tanto, acelerar la transferencia de calor del vapor sobrecalentado al líquido refrigerador, de modo que la reducción de temperatura se alcance en la distancia más corta posible, y con el mínimo riesgo en cuanto a choque térmico del sistema asociado se refiere.

Puesto que raramente se dispondrá de la suficiente distancia, y ante el alto riesgo que supondría el choque del líquido refrigerante sobre la pared de la tubería, deberemos encontrar los medios adecuados con los que acelerar la absorción del líquido refrigerante. Ésta es la función del desrecalentador, y su eficiencia puede ser medida en términos de cómo de bien realiza esta función, de cómo la temperatura final se puede ajustar al punto requerido, y de cómo de próximo se puede colocar el sensor de temperatura al punto de entrada del refrigerante.

Una consideración importante será intentar conseguir la cantidad máxima de energía del vapor en términos de “trabajo hecho”. Para ello habrá de tener en cuenta que cuanto más exacto sea el control de la temperatura y cuanto más se pueda aproximar el punto de ajuste requerido al punto de saturación del vapor, más nos acercaremos a este hecho.

1.2 Formas de desrecalentar

Existen dos formas básicas de desrecalentamiento. El primer tipo es del tipo “sin contacto directo” y el segundo es del tipo “de contacto directo”.

1.2.1 Tipo “sin contacto directo”

En el tipo “sin contacto directo”, el líquido refrigerador no se mezcla con el vapor sobrecalentado y en consecuencia no es absorbido por él. Normalmente, este tipo de desrecalentador emplea la forma de intercambiador de calor, con el vapor sobrecalentado que pasa a través de unos conductos que se encuentran en el camino de un fluido refrigerante.

El vapor sobrecalentado entra en el intercambiador de calor a alta temperatura y sale a la temperatura menor requerida. El calor aportado por el vapor sobrecalentado es absorbido por el líquido refrigerador, que abandona el intercambiador de calor con una temperatura más alta.

A menos que haya un uso específico para este líquido refrigerador calentado, éste representa una pérdida en cuanto a eficacia, y por esta razón, este tipo de desrecalentador raramente se encuentra para los usos que aquí nos ocupan.

El tipo sin contacto directo funcionará con eficacia dentro de una banda de operación que no esté estrechamente definida. Grandes y rápidos cambios en el contenido de calor del vapor sobrecalentado por lo general no serán tolerados. Por esta razón este tipo de desrecalentadores se utilizará generalmente sólo en sistemas de vapor muy estables.

El único caso en el que el desrecalentador “sin contacto directo” se preferirá será en el caso en el que el líquido refrigerador disponible esté contaminado con impurezas que serían perjudiciales al sistema si fueran introducidas en el vapor sobrecalentado.

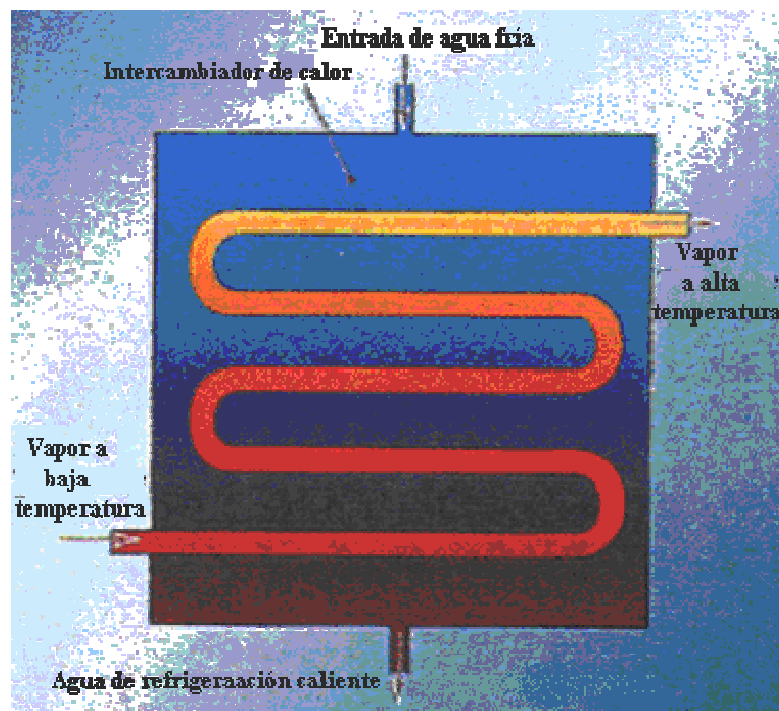


Figura 1. Desrecalentador tipo “sin contacto directo”

- **Ventajas:**
 - Este diseño es capaz de producir vapor desrecalentado a 5[°C] de la temperatura de saturación
 - Altas presiones y temperaturas máximas de diseño, del orden de 60[bar] y 450[°C]
 - Respuesta rápida
- **Desventajas:**
 - Muy voluminosos, ya que debido a que ahora existen en el mercado una larga lista de dispositivos en línea, éstos han sido ampliamente superados
 - Muy costosos
 - En este tipo de dispositivos, es muy importante la eficiencia en el proceso de intercambio de calor. La acumulación de aire o de partículas en la superficie de intercambio de calor puede actuar como una barrera para este intercambio

- **Aplicaciones:**

- Aquellas aplicaciones que experimenten grandes variaciones de carga

1.2.2 Tipo “de contacto directo”

Con el tipo desrecalentador “de contacto directo”, como el nombre indica, el líquido refrigerador entra en contacto con el vapor y se mezcla con él. El resultado es un incremento en la cantidad de vapor sobrecalentado a la salida del desrecalentador pero a una temperatura menor a la de entrada.

Debido a que el líquido refrigerador en sí mismo va a vaporizarse, se requerirá considerablemente menos líquido refrigerador porque se usa el calor latente de la conversión en vapor del refrigerante.

Este tipo es por lo tanto considerablemente más eficiente que el tipo “sin contacto” y se utiliza de manera más extensiva. Además, debido al tamaño físico de los primeros, es de lejos más costoso y requiere de instalaciones con enormes espacios para su uso.

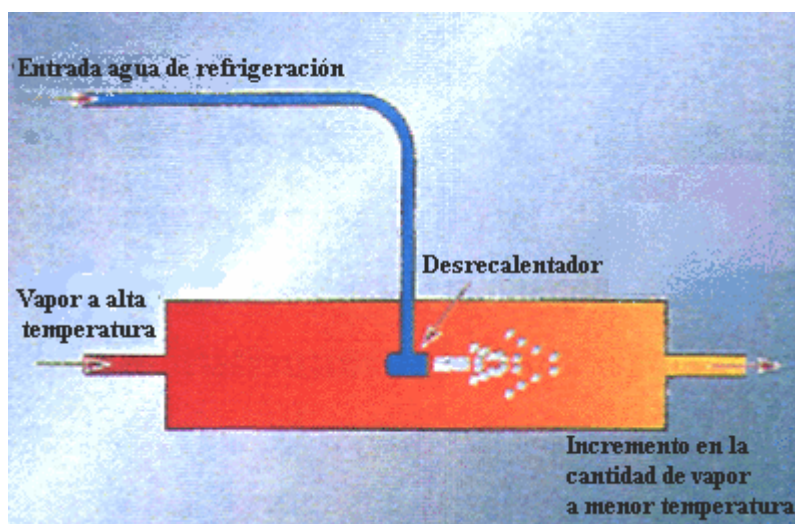


Figura 2. Desrecalentador tipo “de contacto directo”

- **Ventajas:**
 - En su mayoría no requiere de camisas térmicas
 - Eficientes. El agua de refrigeración evaporada se suma a la carga de vapor
 - No hay piezas móviles que puedan desgastarse
 - No hay soportes especiales
 - Opciones flexibles de diseño
 - Mínima caída de presión en el lado del vapor
 - Atomización completa en todo rango de operación
 - Genera la misma cantidad de vapor que el agua que es inyectada y se convierte en vapor
 - El proceso de calentamiento es rápido, mejorando la eficiencia de la planta
 - Bajo costo, con diseños simples y robustos

- **Desventajas:**
 - No son capaces de operar en los rangos de presión y temperatura tan elevados como los desrecalentadores tipo “sin contacto directo”.
 - El flujo a desrecalentar se mezcla con el refrigerante, por lo que éste deberá estar exento de residuos o contaminantes, lo que nos obliga a tener un suministro de refrigerante de alta calidad.

- **Aplicaciones:**
 - Aquellos sistemas de vapor recalentado procedentes del sobrecalentador de la caldera, para modular el vapor en aplicaciones donde no se requieran grandes caídas de presión.

1.3 Calidad del líquido refrigerador

Debido al riesgo de contaminación del vapor sobrecalentado y de la posibilidad de corrosión, es necesario un alto grado de pureza en el líquido refrigerador usado en el tipo “de contacto directo”. Cualquier partícula contenida en el líquido refrigerador será dejada tras de él cuando éste se vaporice, y podría causar problemas en el sistema aguas abajo.

Así, a modo de ejemplo un desrecalentador no es capaz de manejar agua de ciudad, pues es frecuente que el agua de ciudad tenga un nivel de sólidos disueltos de entre 200 y 300 [ppm]. Un simple cálculo demuestra que para 25000 [kg/h] de agua que refrigera, ésta representa cerca de 1.25 [kg/h] de sólidos, que se depositan en el desrecalentador y aguas abajo; visto de otra manera serían 30 [kg/día]. Puede apreciarse por estos datos que no tardarían en aparecer problemas a gran escala en nuestro sistema.

También, si tenemos oxígeno en el líquido refrigerador, éste será liberado cuando se produzca su evaporación dando lugar a la corrosión por oxígeno en las tuberías aguas abajo. La misma precaución se debe tener si aparece cualquier otro componente en la fuente del líquido refrigerador de forma concentrada ya que podría atacar la estructura del desrecalentador o del sistema aguas abajo. No siempre se tiene en cuenta el riesgo que existe, en concreto cuando la cantidad de oxígeno en el agua es muy pequeña, ya que una vez que el agua se evapora, el 100% del oxígeno permanece, el cual ataca rápidamente al carbono del acero. Se han encontrado casos en los que todo el área que ocupa el anillo de refrigerante y el área inmediatamente inferior del desrecalentador han sido atacados por el oxígeno provocando fugas a través de la pared.

Normalmente se recomienda un condensado como refrigerante para éstos o un fluido desaereado que contenga no más de 9 partes por millón de sólidos disueltos.

1.4 Objetivos

El objetivo general del proyecto será la selección del tipo y modelo de atemperador adecuado para acondicionar vapor de baja presión sobresaturado para alimentar un calentador que se encuentra en la unidad regeneradora de aminas de una refinería de petróleo.

Los objetivos, de una manera detallada, serán los expuestos a continuación:

- Planteamiento de los requisitos a partir de los cuales se establece la necesidad de incorporar un atemperador en una unidad de aminas en el marco de una refinería de petróleo.
- Planteamiento de los requisitos específicos del equipo en su lazo de control.
- Análisis y comparación de las posibles elecciones del atemperador más adecuado en base a los requerimientos.
- Comprobación de la idoneidad del modelo elegido para la optimización de la unidad en la que se va a incorporar.

Capítulo 2

Atemperadores en el marco de una refinería de petróleo

2.1 Introducción

El petróleo es hoy en día la principal fuente de energía. Actualmente el 40% de la demanda energética mundial es cubierta por dicho combustible y en España, este porcentaje es del 54%, superando ampliamente la demanda mundial.

Una de las ventajas del petróleo es su utilización adicional como materia prima para la síntesis de productos químicos ya sean orgánicos o inorgánicos.

Al ser un combustible fósil siempre se ha especulado sobre las reservas disponibles llegándose a predecir en 1960 su agotamiento para el siglo XX. Esta predicción quedó totalmente anulada con estudios posteriores que estimaron la reserva mundial en unas 143 giga toneladas de crudo.

Al petróleo se le atribuye origen orgánico. La explicación a dicho origen sería, a grandes rasgos:

La flora marina transforma el CO_2 en materia vegetal, de la cual se alimentan animales marinos, los cuales al morir, se depositan en el lecho del mar mezclándose con sedimentos arenosos. Esta materia inicia una descomposición bajo presión en condiciones anaerobias dando lugar al petróleo. Este petróleo, a causa de movimientos geológicos, queda retenido en fallas u otros accidentes geológicos. Debido a este origen marino, el petróleo suele estar acompañado de agua salada.

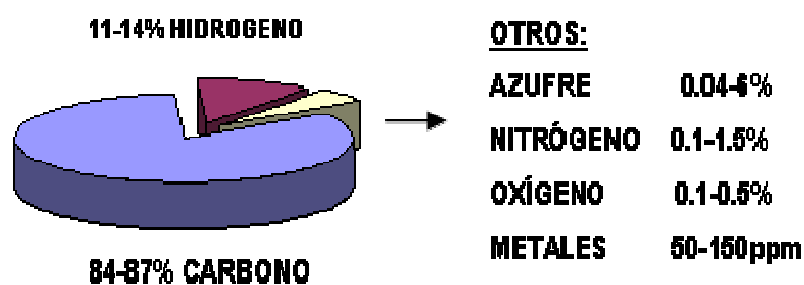


Figura 3. Composición media del petróleo

En cuanto a su composición se puede decir que está constituido por hidrocarburos varios. Una composición media del petróleo podría estimarse en 85%C, 12%H y 3% S+O+N además de varios elementos metálicos. Los distintos tipos de hidrocarburos tienen una denominación petrolera, por ejemplo el metano (CH_4) se denomina C, y así

hasta especies más complejas como C_{40} . En ocasiones el petróleo viene acompañado por notables cantidades de gases como H_2S , CO_2 , N , $HC...$

La identificación de especies es posible en las fracciones más ligeras ya que a partir de las fracciones $C_8 - C_{10}$ la presencia de isómeros y estructuras complejas dificulta dicha identificación. Los componentes hidrocarburados contienen representadas funcionalmente las siguientes series: parafínica real (parafinas), parafínica ramificada (isoparafinas), ciclada (naftenos), aromática (benceno, naftaleno...) y mixta.

Las fases de explotación industrial a las cuales es sometido el petróleo se enumeran a continuación:

a) Prospección

Es una combinación de estudios geológicos, en los cuales se estudia el terreno para posibles futuras extracciones (mediante imágenes aéreas del terreno), y estudios geofísicos ya sean de tipo gravimétrico, magnético o sísmico, los cuales son útiles para determinar la presencia de rocas porosas y poco densas que pudieran contener petróleo.

b) Sondeo y extracción

Cuando mediante los estudios anteriores se localiza petróleo, el siguiente paso es hacer varias perforaciones para determinar la magnitud del yacimiento, capas de agua, de gas o espesor y porosidad de la roca. El petróleo no se encuentra como un gran pozo sino como estratos de rocas porosas empapados en petróleo gas y agua salada (como una esponja mojada). Hay que decir como dato estadístico que solo 1 de cada 50 perforaciones resulta satisfactoria.

Ya extraído el petróleo, se trata con productos químicos y calor para eliminar el agua y los elementos sólidos, y se separa el gas natural. Después se almacena el petróleo en tanques y se transporta a una refinería en camiones, por tren, en barco o a través de un

oleoducto. Todos los campos petrolíferos importantes están conectados a grandes oleoductos.

Es esta fase, en el refino del petróleo en la que centraremos nuestro estudio, ya que nuestros equipos operarán en estas instalaciones con el propósito de contribuirán el proceso de un buen refino.

2.2 Refino de petróleo

Cada proceso tiene sus características y equipos para producir determinado número de productos. La refinería puede contar con un seleccionado número de procesos para satisfacer la variedad de productos requeridos por la clientela. De cada planta salen productos terminados o productos semielaborados que para impartirles sus características y calidad son procesados en otras plantas.

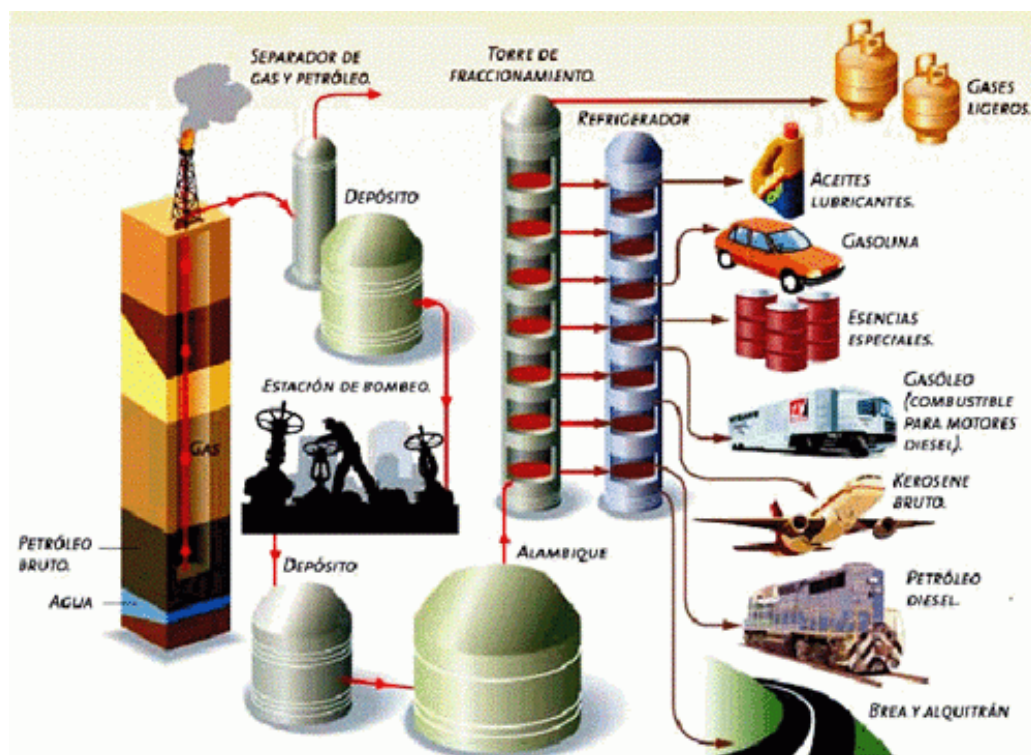


Figura 4. Estructura física de una refinería

En una refinería se persiguen 4 objetivos:

- 1.- Fraccionamiento del crudo mediante destilación.
- 2.- Convertir las fracciones de menor demanda en fracciones como la gasolina y similares mediante craqueo.
- 3.- Elevar la calidad de las gasolinas por reformado.
- 4.- Depurar los productos obtenidos anteriormente por refino final.

El tipo de refinerías a las que haremos mención serán refinerías con alto grado de conversión. Son refinerías que están altamente integradas, comenzando el procesado del crudo en la destilación atmosférica y llegando a todos los productos finales formulados en condiciones adecuadas para su comercialización. La integración lleva a un mejor aprovechamiento energético a costa de una pérdida de flexibilidad. Se minimizan, e incluso eliminan, muchos almacenamientos intermedios, en los que los productos se enfrían para después volver a calentarlos, y los intercambios de calor se llevan a cabo buscando la mayor eficacia posible, incluso entre corrientes de distintas unidades. Su principal inconveniente reside en esta independencia, que hace que el fallo de una unidad cualquiera repercuta desastrosamente sobre todas las demás. Por eso la integración a la que se llega en la práctica es relativa, respetando unos límites impuestos por la organización de la producción.

Un alto grado de integración requiere una alta fiabilidad del funcionamiento de los equipos y unidades claves, para lo que se exige siempre estándares de la máxima calidad y eficientes sistemas de regulación y control.

Un esquema típico de este tipo de refinerías es el que se muestra en la figura 5. En los siguientes puntos se desglosarán las unidades más importantes y aquellas en las que el uso de atemperadores sea vital.



2.2.1 Fraccionamiento y refino del petróleo crudo

2.2.1.1 Destilación atmosférica y destilación a vacío

La unidad de cabeza en la que se inicia el tratamiento de los crudos en las refinerías es la destilación atmosférica, que también recibe el nombre de “topping”. En ella se separan las fracciones en diferentes cortes caracterizados por su intervalo de ebullición. Cada corte, tiene pues, un punto inicial de ebullición (IBP) y un punto final de ebullición (FBP o EP) bien definidos. La destilación atmosférica se lleva a cabo mediante columnas que se alimentan en continuo por su parte inferior con el crudo previamente calentado a unos 375[°C] y se van realizando sucesivas extracciones laterales correspondientes a las distintas fracciones destiladas. La fracción más ligera se obtiene por cabeza, completamente vaporizada, una parte de la cual, después de condensar, se reintroduce como flujo en la columna.

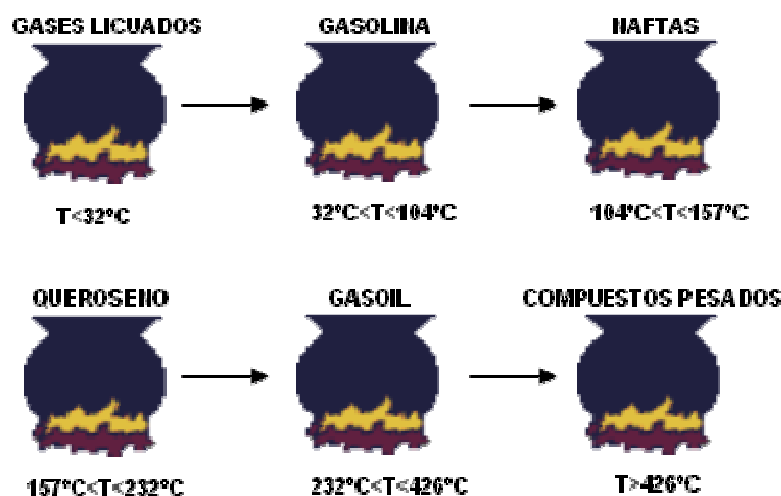


Figura 6. Temperaturas de vaporización de algunos componentes del petróleo

Las extracciones laterales son líquidos saturados que se someten a agotamiento en “strippers” o laminadores laterales generalmente mediante arrastre con vapor, regulados de forma que la sección separada tenga el intervalo de destilación deseado. La parte más pesada de la alimentación que no llega a destilar constituye el residuo

atmosférico (o crudo reducido), que también se somete a un “stripping” con vapor para arrastrar los ligeros que lleva consigo disueltos.

El número de los cortes de un fraccionamiento industrial y los intervalos de ebullición de cada uno de ellos son definidos en cada refinería buscando el aprovechamiento más económico de cada crudo. Cada corte se procesará de la manera más conveniente, con forme a su composición y al destino final que se le haya asignado.

Por tanto, la fracción más volátil, constituida por los gases inconfensables del petróleo (los LPG) y las naftas, pasa a continuación a la unidad de ligeros, que consta de dos secciones: la unidad de estabilización, que tiene como misión la separación de los ligeros (C_3 y C_4) disueltos en las naftas, y la unidad de concentración de gases, de la que sale el “fuel gas” (o gas de refinería) y los LPG, el propano y el butano, por separado.

El tratamiento primario de refino incluye la desulfuración de los productos ligeros, gases, naftas y kerosenos, que modernamente se suele llevar a cabo mediante extracción (unidad de aminas), en el caso de los primeros, y por tratamientos químicos (unidades Merox) para los restantes. Los kerosenos a veces se desulfuran en unidades de tratamientos con hidrógeno, como los destilados medios y el gasoil atmosférico (AGO).

También se consideran tratamientos primarios las destilaciones al vacío (unidades de vacío) a que se somete generalmente una parte del crudo reducido saliente de la destilación atmosférica, ya que el fraccionamiento de crudos de petróleo a presión atmosférica queda limitado por la máxima temperatura a la que pueden ser calentados sin que se produzca el “cracking” o rotura térmica de sus componentes.

Debido a esta limitación, el residuo atmosférico o crudo reducido obtenido en la destilación atmosférica de los crudos normales supone alrededor del 40% del volumen introducido en la unidad. Este residuo, en el caso de no tratarse posteriormente, sólo sirve para la preparación de fuel oil, previamente mezclado en las proporciones adecuadas con gasoil (AGO) e incluso con dieseloil pesado, para ajustar su viscosidad. Como producto no destilado, contiene los componentes menos volátiles de alto peso molecular, ricos en

azufre, nitrógeno, oxígeno y metales, con elevada proporción de carbono sobre hidrogeno (asfaltenos), junto con otros, de mayor volatilidad y exentos de metales y compuestos nitrogenados y oxigenados (aceites y resinas), formando una emulsión estable.

La destilación a presiones inferiores a la atmosférica permite separar estos componentes más volátiles que por su constitución química pueden ser procesados en las unidades de conversión catalítica, dando lugar a otros productos de mayor valor añadido y, por tanto, proporcionando un mejor aprovechamiento del crudo.

El destino de las fracciones destiladas en las unidades de vacío determinan los cortes del fraccionamiento y, en consecuencia, el diseño de la unidad. Los objetivos de la destilación en vacío pueden ser tres diferentes, que dan lugar a tres variantes de proceso:

- **Separación de VGO para unidades de conversión.** La fracción más ligera se denomina gasoil de vacío (VGO) y suele destinarse, junto con el gasoil atmosférico, previamente desulfurado o sin ningún tratamiento, para alimentar las unidades de conversión catalítica que los transforman en productos más ligeros, y/o como “cuttre stocks” (productos destilados de baja viscosidad) para la preparación de fuelóleos (FO).
- **Producción de bases de aceites lubricantes.** Los destilados medios pueden destinarse alternativamente a la preparación de aceites lubricantes, si la naturaleza del crudo es adecuada a este fin, en cuyo caso suelen separarse en tres fracciones: “Light Neutral” (LN), la de menor viscosidad; “Médium Neutral” (MN), la de viscosidad intermedia; y “Heavy Neutral” (HN), las más viscosa.
- **Producción de asfaltos.** Separándose los aceites más pesados contenidos mediante extracción con disolventes.

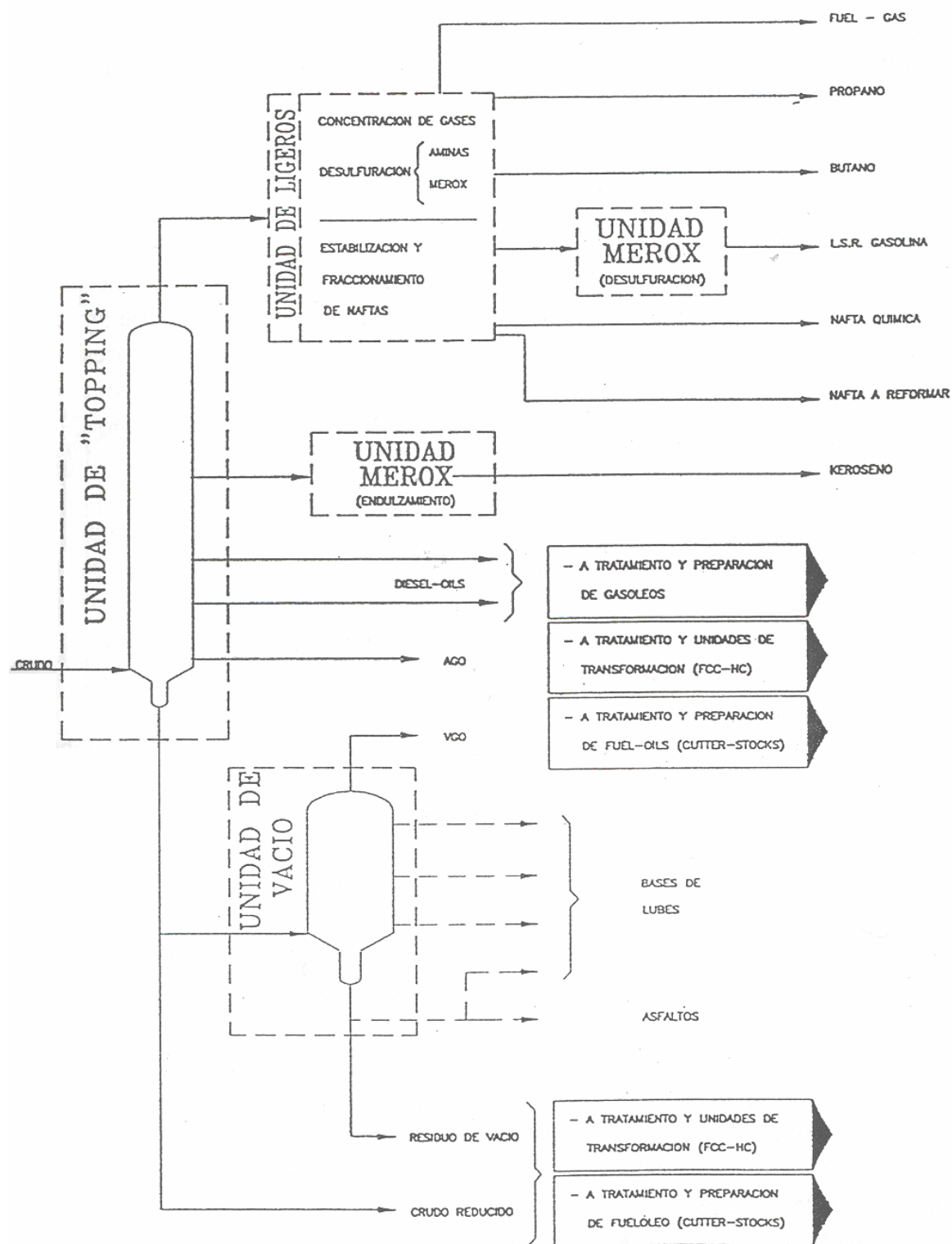


Figura 7. Tratamientos primarios de separación y refino

2.2.1.2 Concentración de gases y estabilización de naftas

Esta unidad, también conocida con el nombre de unidad de ligeros, tiene por objeto la separación primaria de los destilados de cabeza de la columna de “topping”: por una parte la nafta libre de butano, y finalmente el “fuel gas” (gas de refinería), constituido mayoritariamente por el etanol y el metanol.

En esta misma unidad se pueden separar simultáneamente y junto con los destilados de cabeza de la destilación atmosférica los efluentes gaseosos de otras unidades de la refinería, que producen cantidades apreciables de productos gaseosos ligeros, del C_1 al C_4 , que llevan asociados hidrocarburos más pesados (C_5 y C_6) que deben ser recuperados, dándoles salida junto a las naftas. Esta recuperación se hace normalmente mediante absorción, poniendo en contacto la corriente gaseosa, en la que se reúnen todos los componentes más ligeros, con una corriente de nafta pesada, que retiene selectivamente los componentes más pesados de la fase gaseosa. Es ésta la sección de concentración de gases, de la que se obtiene el “fuel gas”, cuyos componentes principales son etano, metano, hidrógeno y algo de propano, junto con etileno y algo de propileno procedentes de las unidades de “cracking”.

En la sección de estabilización de naftas se trata el destilado de cabeza de la destilación atmosférica, previamente mezclado con la nafta pesada saliente del absorbedor de la concentración de gases, separándose por destilación los hidrocarburos C_4 e inferiores por cabeza, y la nafta estabilizada, por cola.

El tratamiento se completa con unidades de desulfuración y de fraccionamiento, que proporcionan productos semiterminados que, o bien pueden utilizarse directamente en la formulación de los productos finales, o prosiguen su tratamiento en otras unidades de la refinería.

2.2.1.3 Unidades de desulfuración y endulzamiento

El calentamiento que sufre el crudo en la unidad de destilación atmosférica tiene como consecuencia la ruptura de algunos enlaces más débiles de C-S de las complejas

moléculas que lo constituyen, según unas reacciones propias del “cracking” térmico, originándose sulfuro de hidrógeno (ácido débil) y mercaptanos (de fórmula general R-SH), por lo que la concentración de estos compuestos sulfurados va aumentando progresivamente a lo largo del tren de intercambiadores y de los tubos del horno, haciéndose máxima en las zonas más calientes de la columna.

Cada fracción obtenida lleva consigo los compuestos sulfurados de volatilidad correspondiente a su intervalo de ebullición. La totalidad de H_2S sale por cabeza de la columna y en parte queda absorbido por el agua condensada de los distintos acumuladores de cabeza (aguas ácidas que deberán ser tratadas convenientemente en la unidad de aguas residuales). El resto de H_2S , junto con los mercaptanos más volátiles, acompaña a los gases licuados a través de la desbutanizadora y debe ser separado cuanto antes para evitar tanto sus efectos corrosivos, como su presencia en los productos finales: LPG y “fuel gas”.

El H_2S presente en el destilado de la desbutanizadora es, por tanto, suma del que contiene el crudo, más el generado en el calentamiento, menos el absorbido en el agua separada en los acumuladores.

Las unidades de desulfuración tienen por objeto, como su nombre indica, la separación del azufre contenido, cualquiera que sea la forma en que se encuentre presente en la corriente de hidrocarburos. La separación del H_2S y de los mercaptanos más ligeros es relativamente fácil, no así la de los mercaptanos más pesados, ni la de otras moléculas más complejas, en las que se encuentra incorporados uno o varios átomos de azufre. En estos casos, interesa, al menos anular el grupo -S-H, propio de los mercaptanos, que es el que proporciona sus características indeseables, provocando su deshidrogenación y apareamiento, para convertirlos en sulfuros o disulfuros. Tal operación se designa con el nombre de endulzamiento, ya que, de esta forma desaparece su carácter ácido, aunque no se consiga la desulfuración.

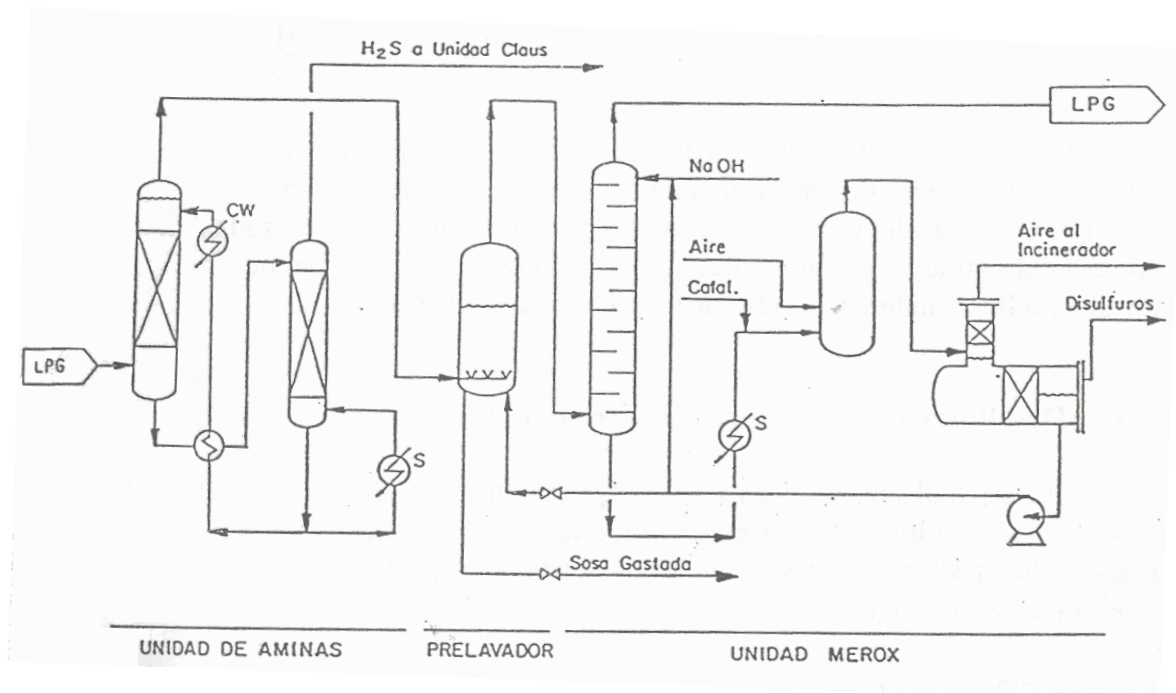


Figura 8. Desulfuración y endulzamiento de LPG mediante aminas y solución cáustica

2.2.1.4 Recuperación de azufre

El sulfuro de hidrógeno y los mercaptanos más ligeros separados en las unidades de desulfuración deben de ser transformados en compuestos estables que no produzcan contaminación al medio ambiente, y que además, proporcionen una bonificación en la cuenta de resultados de la refinería. En la mayoría de los casos esta recuperación se lleva a cabo en forma de azufre elemental en unidades Claus.

El proceso Claus original, ya descrito por Chance y Claus en 1885, se utiliza en la actualidad en diversas variantes según las concentraciones de H_2S e hidrocarburos presentes en el gas ácido.



Figura 9. Azufre a granel producto de la desulfuración

La recuperación del azufre más allá del 93% requiere de instalaciones de mayor complejidad: procesos en dos etapas o combinados. En la actualidad, las exigencias de limitar la emisión de contaminantes sulfurados, como el H_2S y el SO_2 , son tan restrictivas, que obligan a recuperaciones superiores al 99%, aunque el incremento de la producción de azufre no resulte económico. Por ello se recurre preferentemente a la instalación de unidades complementarias de tratamiento de aguas de cola, en las que se absorben los contaminantes presentes en los efluentes gaseosos de las unidades de recuperación de azufre, reciclándolos a la alimentación.

2.2.2 Unidades de conversión

Los procesos de conversión que aquí se muestran ocasionan una modificación esencial en la estructura de las moléculas de los hidrocarburos, originado por tanto, un cambio sustancial en todas sus características y propiedades, desde su peso molecular, hasta por ejemplo, su número de octano.

Estos procesos pueden clasificarse en tres grandes grupos según el objetivo principal que se persigue en cada caso. Un primer grupo lo constituyen los procesos de “cracking” o craqueo, en los que se busca una disminución del tamaño molecular, aunque también se produzca una modificación en su estructura, ramificando y ciclando las cadenas

parafinicas. En el segundo se pretende exclusivamente reformar su estructura molecular, sin variar su peso molecular. Y en el tercero se desea aumentar el tamaño de las moléculas mediante reacciones de síntesis, alquilación, polimerización, etc.

Los procesos de “cracking” se dividen en dos subgrupos, según se realicen o no con la intervención de catalizadores. Esta división es debida a que el craqueo catalítico supone un mecanismo mucho más complejo de reacciones químicas que el involucrado en la simple pirólisis. Por tanto, se dividirán en craqueo térmico y craqueo catalítico.

Situados entre el primer grupo (procesos de craqueo) y el segundo (procesos de reformado) aparecen los procesos de refino complementarios, tales como los tratamientos con hidrógeno.

Se mostrarán a continuación los procesos más importantes y aquellos en los que el diseño de atemperadores sea crucial para su funcionamiento.

2.2.2.1 “Cracking” térmico de hidrocarburos

El proceso de craqueo térmico, o pirólisis a presión, se desarrolló en un esfuerzo por aumentar el rendimiento de la destilación. En este proceso, las partes más pesadas del crudo se calientan a altas temperaturas bajo presión. Ésto divide (craquea) las moléculas grandes de hidrocarburos en moléculas más pequeñas, lo que aumenta la cantidad de gasolina —compuesta por este tipo de moléculas— producida a partir de un barril de crudo. No obstante, la eficiencia del proceso era limitada porque, debido a las elevadas temperaturas y presiones, se depositaba una gran cantidad de coque (combustible sólido y poroso) en los reactores. Esto, a su vez, exigía emplear temperaturas y presiones aún más altas para craquear el crudo. Más tarde se inventó un proceso en el que se recirculaban los fluidos; el proceso funcionaba durante un tiempo mucho mayor con una acumulación de coque bastante menor. Muchos refinadores adoptaron este proceso de pirólisis a presión.

A grandes rasgos, los procesos basados en el “cracking” térmico de hidrocarburos que mayor interés ofrecen en la actualidad son:

- Craqueo con vapor (“Steam cracking”) para la producción de oleofinas.
- Coquización de residuos (“cooking”).
- Reducción de viscosidad (“visbreaking”) de residuos.

2.2.2.2 Coquización en lecho fluido y “flexicoking”

El objetivo de las unidades de coquización puede ser muy distinto dependiendo de las circunstancias del mercado y de la estructura productiva de cada refinería. En la actualidad, estas unidades se instalan para deshacerse, mediante conversión térmica, de productos pesados difícilmente comercializables que, en parte, se convierten en destilados ligeros que, debidamente tratados, pueden incorporarse a los productos más valiosos y de mayor demanda, mientras el resto se transforma en un producto sólido, fácilmente almacenable hasta el momento de su utilización.

En las nuevas tecnologías de coquización en lecho fluido (“Fluid-cocking”) las reacciones de pirólisis tienen lugar en un lecho de partículas de coque, previamente calentadas en otro reactor separado, que se mantiene fluidificado mediante vapor de agua y sobre el que se pulveriza la alimentación precalentada en un horno convencional hasta alrededor de unos 500[°C]. El calor sensible del sólido aporta la energía necesaria para las reacciones endotérmicas de pirólisis de los hidrocarburos que llegan a la superficie de las partículas, coquizándose sobre ellas por lo que progresivamente aumentan de tamaño, a la vez que se enfrían, debiendo ser extraídas del reactor antes de que ocasionen la pérdida de la fluidización.

Los vapores de los hidrocarburos ligeros, productos de las reacciones de “cracking”, ascienden por el reactor, contribuyendo a fluidificar al coque, y pasan a la columna de fraccionamiento, dispuesta inmediatamente encima de la cámara de reacción. Los primeros condensados, son de fuerte color negro, pues arrastran mucho polvo de coque, y deben reciclarse al reactor junto con la alimentación. Los hidrocarburos más ligeros salen por cabeza (gases y naftas), mientras que por una extracción lateral salen los destilados

medios, designados como “gasoids” (GO) de coquización. Variando la relación de reflujo se regulan las temperaturas finales de ebullición de las naftas y “gasoids” y el reciclo.

Las partículas de coque que salen del reactor impregnadas de hidrocarburos volátiles se queman en otro reactor de lecho fluido designado como quemador, donde se calientan a la vez que se reduce su tamaño. Antes de que se consuman, se les extrae y transporta al reactor de pirólisis en el que entran a una temperatura del orden de 650[°C]. Los gases de combustión escapan a través de unos ciclones y se les lava con agua en un “scrubber”. Si su contenido en CO es alto, se puede aprovechar su poder calorífico quemándolos con aire adicional en una caldera de recuperación de calor.

El proceso, esquematizado en la figura 10, presenta la ventaja de autoconsumir gran parte del coque residual y proporcionar energía utilizable en forma de calor.

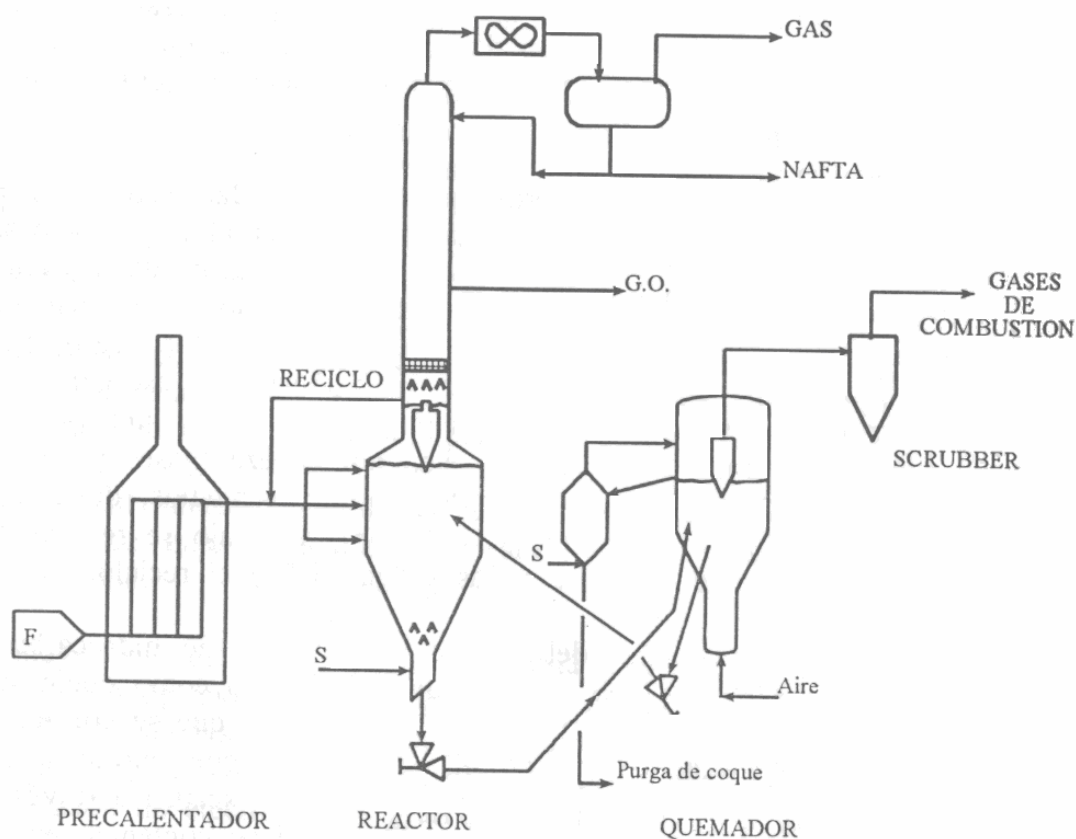


Figura 10. Esquema simplificado del “Fluid cocking”

Sin embargo, todavía se produce un exceso de coque. Para ello, se creó una variante de este proceso, que resulta todavía más atractiva energéticamente y que reduce al mínimo posible la producción de coque, es el “Flexicocking”. Según este proceso, el exceso de coque se gasifica con vapor de agua y con aire, bien conjuntamente en un tercer reactor, bien en dos reactores separados, que se representan en la figura 11.

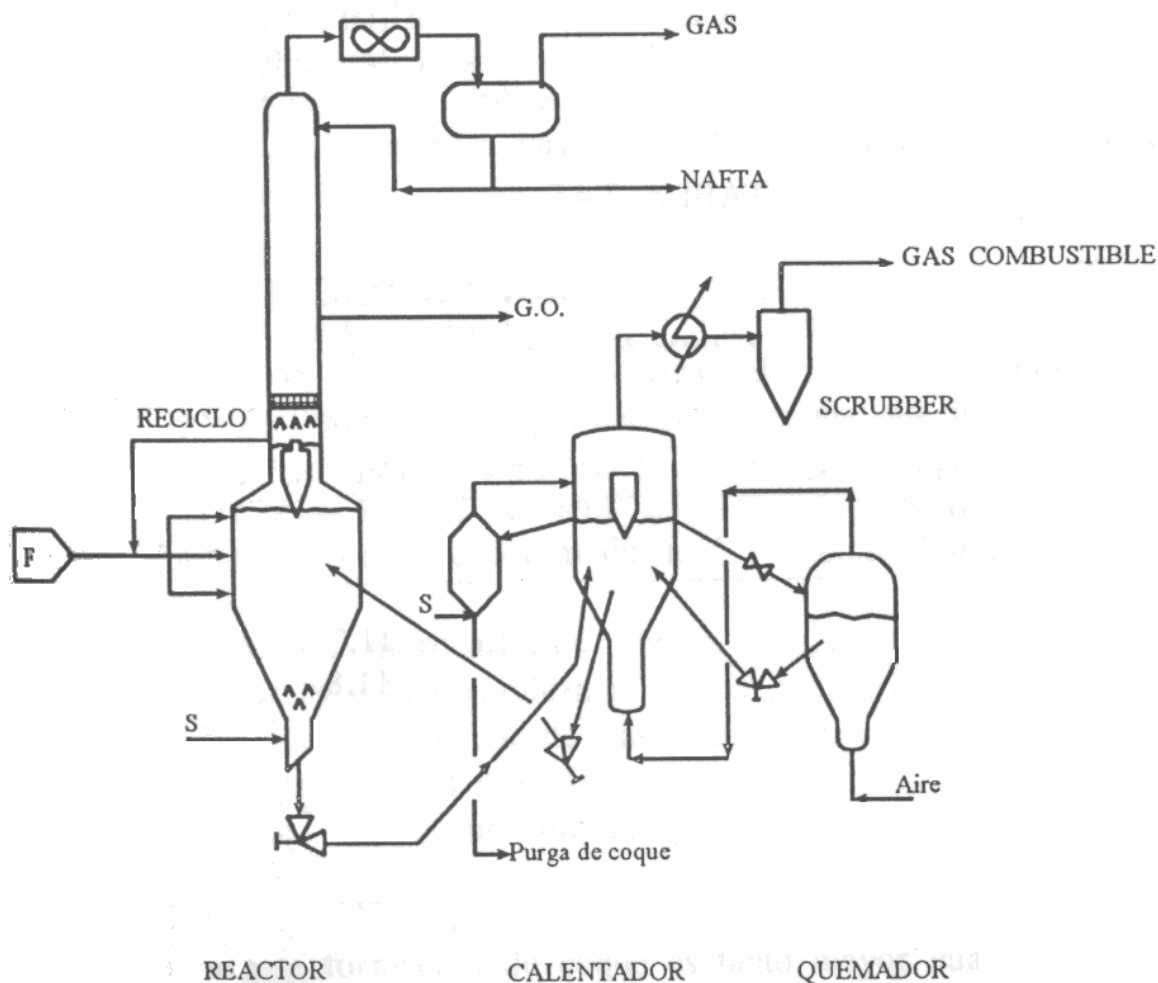


Figura 11. Esquema simplificado del “Flexicocking”, con gasificación conjunta

Como en la simple coquización de lecho fluido, la alimentación se inyecta en el reactor donde se craquea produciendo destilados, que pasan a la columna de fraccionamiento, y coque, que se deposita sobre las partículas del lecho. Éstas se transportan con vapor de agua a un segundo reactor, denominado ahora calentador.

De éste se retorna el coque caliente al reactor, en la medida que sea necesaria para mantener las reacciones endotérmicas de pirólisis, y el exceso se transmite al gasificador conjunto, donde se quema parcialmente con aire y se gasifica con vapor de agua de alta a alta temperatura. La necesaria transferencia de coque a distintas temperaturas entre los aparatos, que posibilita la estabilidad de los balances de masa y energía, se realiza mediante fluidificación con inyectores de vapor.

2.2.2.3 “Cracking” catalítico de hidrocarburos

El proceso se introdujo en la década de 1930, con lo que aumentó adicionalmente la gasolina producida a partir de un barril de crudo.

En el proceso de craqueo catalítico, el crudo se divide (craquea) en presencia de un catalizador finamente dividido. Ésto permite la producción de muchos hidrocarburos diferentes que luego pueden recombinarse mediante alquilación, isomerización o reformación catalítica para fabricar productos químicos y combustibles de elevado octanaje para motores especializados. La fabricación de estos productos ha dado origen a la gigantesca industria petroquímica, que produce alcoholes, detergentes, caucho sintético, glicerina, fertilizantes, azufre, disolventes y materias primas para fabricar medicinas, nailon, plásticos, pinturas, poliésteres, aditivos y complementos alimentarios, explosivos, tintes y materiales aislantes.

Existen dos formas de realizar el “cracking” catalítico de hidrocarburos:

A) Proceso de “cracking” catalítico en lecho fluido (FCC, “Fluid Catalytic Cracking”)

En la actualidad, las distintas variantes de “crackers” catalíticos en operación en todo el mundo disponen de reactores y regeneradores, en los que el catalizador, se mantiene fluidificado, realizándose la transferencia del mismo entre ambos mediante flujo arrastrado, bien por la misma alimentación, bien por vapor en los tramos ascendentes, bien por gravedad en los descendentes, pero manteniendo siempre la fluidificación, por ello se les denomina genéricamente FCC (“Fluid Catalytic Cracking”).

Las unidades de FCC constan de tres secciones principales: la conversión, el fraccionamiento y la estabilización.

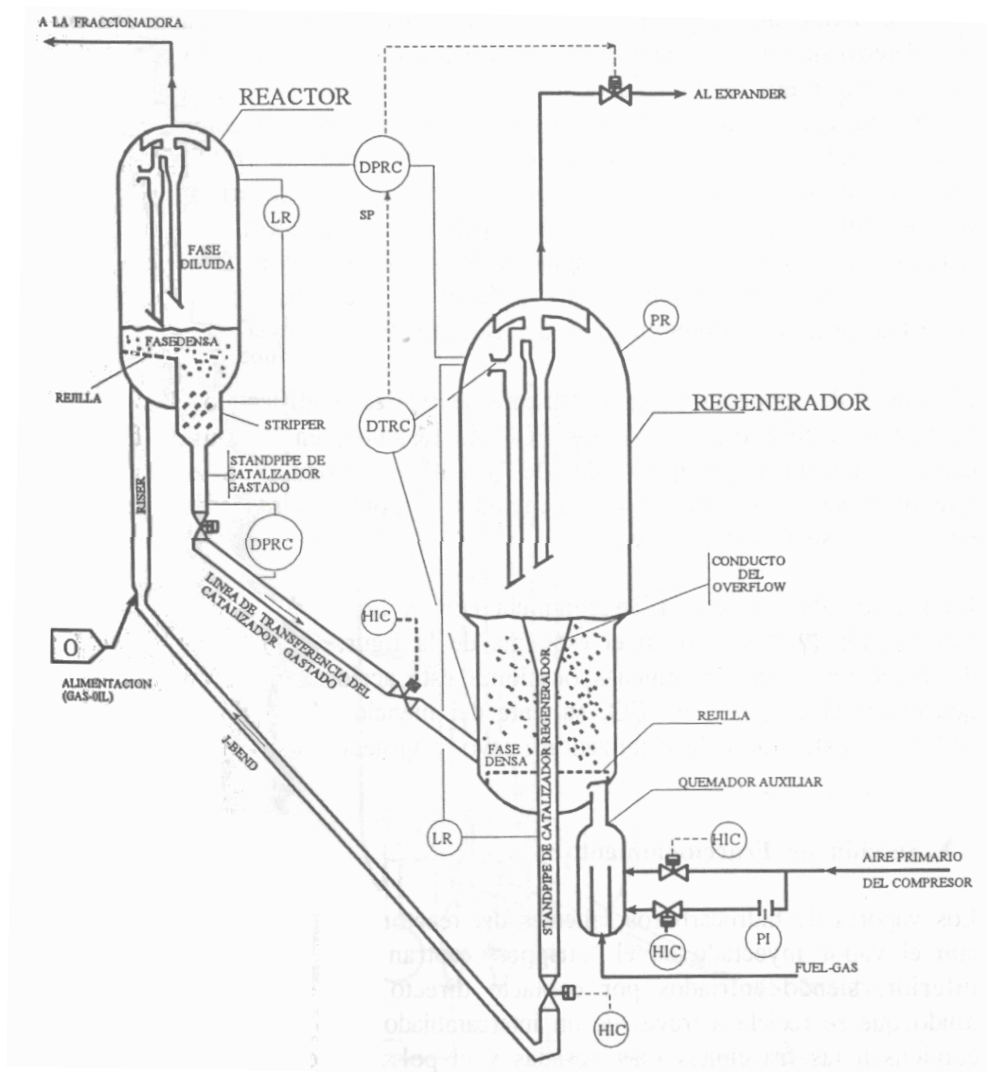


Figura 12. Esquema del proceso “Flexicracking”

La sección de conversión incluye el reactor, en el que tiene lugar el “cracking” catalítico de los hidrocarburos presentes en la alimentación y en las corrientes recicladas de fraccionamiento; el “stripper”, destinado a eliminar por arrastre con vapor los hidrocarburos ligeros absorbidos en el catalizador a la salida del reactor, y el regenerador, donde se quema el coque depositado sobre la superficie del catalizador con aire para

devolverle su actividad y, simultáneamente, proporcionar el calor necesario para la pirólisis.

Los vapores de hidrocarburos salientes del reactor, junto con el vapor inyectado en el “stripper”, entran en el fraccionador por su parte inferior, siendo enfriados por contacto directo con la corriente de fondo que se recicla a través del intercambiador de calor. En este enfriamiento condensan las fracciones más pesadas y el polvo de catalizador escapado. El circuito de reciclado se purga a través de un decantador.

La extracción lateral inferior es el “Heavy Cycle oil” (HCO), que normalmente se recicla al reactor. La inmediata superior, denominada “Light Cycle Oil” (LCO), suele destinarse a la preparación de gasóleo C.

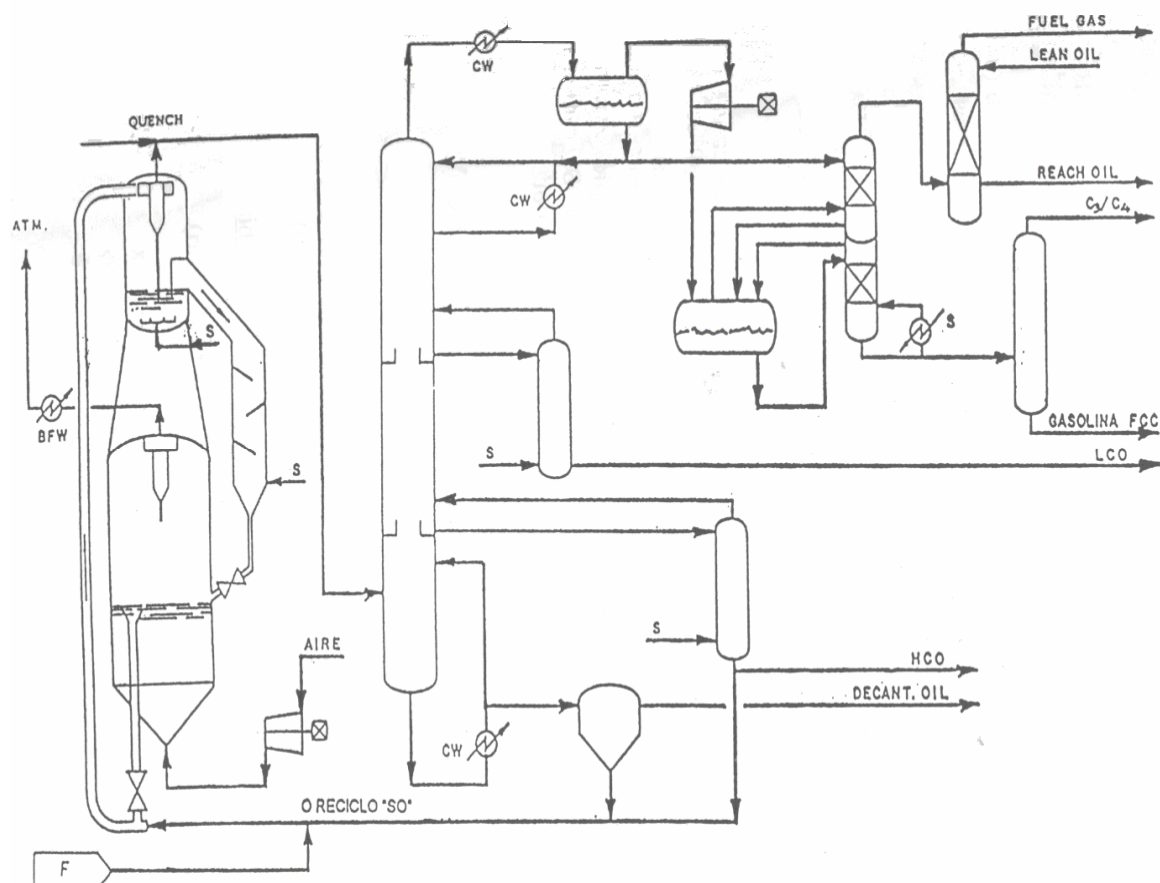


Figura 13. Esquema de un “cracker” catalítico FCC con la columna de fraccionamiento y unidad de ligeros

Por cabeza se extraen los ligeros, es decir, los gases y la nafta o gasolina de FCC, que se tratan en la sección de concentración de gases y estabilización de gasolinas.

B) “Cracking” catalítico con hidrógeno (“Hidrocracking”)

El mayor desarrollo del craqueo con hidrógeno ha tenido lugar cuando se ha conseguido la preparación de catalizadores de gran actividad que se denominan de función dual, pues promueven simultáneamente las reacciones de “cracking” y las de hidrogenación. La gran ventaja de estos procesos radica en que mejoran la relación H/C de la alimentación y se minimiza la formación de coque.

La presencia de hidrógeno hace inestables a las oleofinas en las condiciones en que tiene lugar su formación, saturándolas a medida que se van formando, con lo que se minimizan las reacciones secundarias de condensación. Por otra parte, los anillos aromáticos polinucleares se hidrogenan parcialmente, dando lugar a anillos nafténicos que se craquea seguidamente. En definitiva se superponen ambos tipos de reacciones.

La transformación de los resistentes anillos aromáticos en nafténicos, fácilmente craqueables, permite utilizar como alimentación hidrocarburos pesados aromáticos que en los FCC tan sólo pierden sus cadenas laterales, pero no rompen los anillos. Esta característica hace que los “hidrocrackers” sean unidades no solo competitivas de los FCC, sino también complementarias.

La característica principal de los “hidrocrackers” es su flexibilidad en cuanto a la alimentación, admitiendo además de los “gasoils” atmosféricos y de vacío, los producidos en las unidades de conversión.

Su principal inconveniente es el elevado consumo de hidrógeno que se requiere, y como consecuencia de ello y de la necesidad de trabajar a altas presiones, los elevados costes de inversión que implica su instalación.

Tres son las secciones propias de un “hidrocracker”: la conversión, la separación de hidrógeno y gases, y el fraccionamiento. De esta última se recicla la fracción más pesada a la conversión, para conseguir el reparto de productos deseados.

La versión más sencilla de esta instalación es la de “hidrocracker” en una sola etapa, la cual se muestra de modo simplificado en la figura 14.

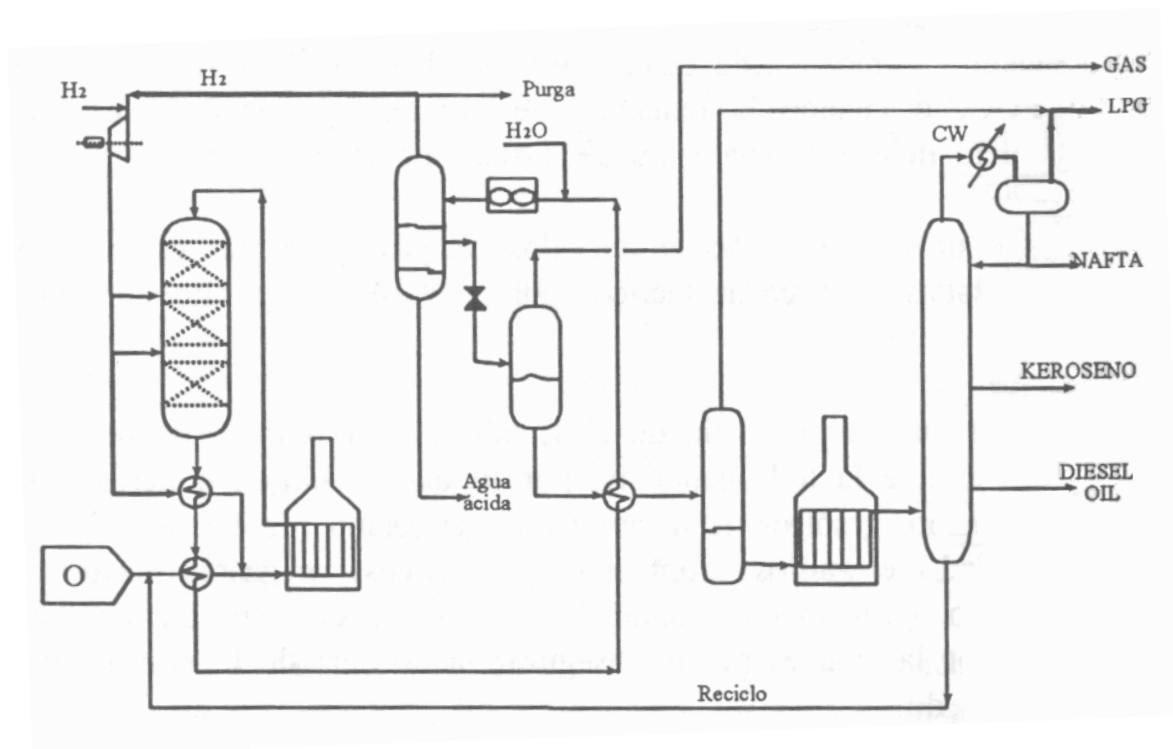


Figura 14. Esquema simplificado de un “hidrocracker” de una única etapa.

Conforme al esquema, la alimentación y el reciclo se precalientan junto con el hidrógeno en un horno hasta temperaturas de unos 400[°C], entrando en el reactor a una presión de 100-160 [bar]. A la salida de las sucesivas capas de catalizador se inyecta hidrógeno frío para controlar la temperatura de entrada en la capa siguiente.

La fase gaseosa fría está constituida por hidrógeno, parafinas ligeras, sulfuro de hidrógeno y amoníaco. Para eliminar estos últimos se inyecta agua a la corriente bifásica antes de entrar en el último refrigerante previo al separador, purgándose por el fondo del separador como agua ácida.

Mediante un compresor se recircula el gas al reactor, debiéndose purgar una parte para evitar una excesiva concentración de hidrocarburos ligeros en el reactor que reduciría el valor de la presión parcial de hidrógeno.

La purga de hidrógeno origina una pérdida del mismo. Para reducirla, en la purga se emplean separadores de membranas permeables que concentran los hidrocarburos en la purga, por ser mucho más lentos en la permeación que el hidrógeno.

La fase líquida lleva disuelto casi todo el propano y gran parte del etano y metano, junto con cantidades menores de hidrógeno, que se desgasifican en sucesivas desgasificaciones. Finalmente se calienta un horno y se somete a un fraccionamiento convencional. La corriente de fondo, constituye el reciclo.

2.3 Productos del petróleo

Del petróleo se obtienen muchos productos, desde gases y líquidos sumamente volátiles como la gasolina, hasta fluidos muy espesos como el asfalto y aun sólidos como la parafina o ceras. En líneas generales, los derivados básicos del petróleo son: gases, gasolina de motor, gasolina de aviación, keroseno, gasoil, diesel, solventes, bases lubricantes, parafina, combustible pesado (fuelóleo) y asfalto.

Además de esos productos básicos elaborados en instalaciones propias, la industria suministra materias primas a plantas petroquímicas y empresas manufactureras para producir caucho sintético, fibras sintéticas, fertilizantes, explosivos, insecticidas, medicinas, artículos de tocador y miles de otros productos.

Los siguientes son los diferentes productos derivados del petróleo y su utilización:

- Asfaltos: se utilizan para la producción de asfaltos y como material sellante en la industria de la construcción.

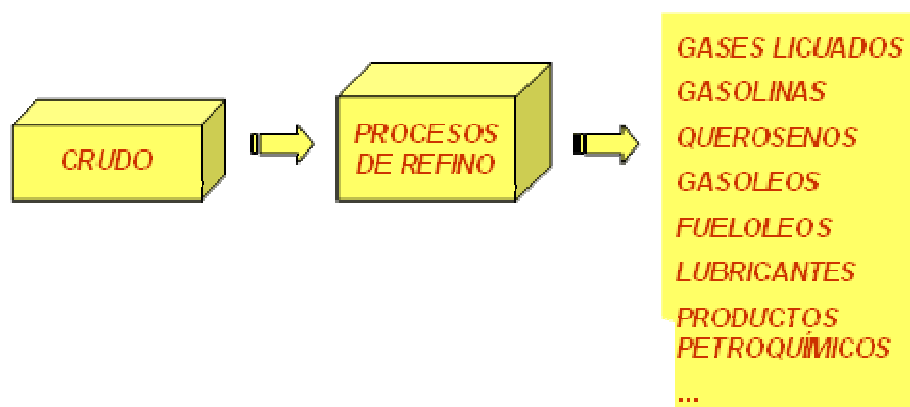


Figura 15. Productos del petróleo

- Ácido nafténico: sirve para preparar sales metálicas tales como naftenos de calcio, cobre, zinc, plomo, cobalto, etc., que se aplican en la industria de pinturas, resinas, poliéster, detergentes, tenso activos y funguicidas.
- A.C.P.M. o diesel: combustible de uso común.
- Alquibenceno: se usa en la industria de todo tipo de detergentes, para elaborar plaguicidas, ácidos sulfónicos y en la industria de curtientes.
- Alquitrán aromático: Materia prima para la elaboración de negro de humo que, a su vez, se usa en la industria de llantas. También es un diluyente.
- Bases lubricantes: Es la materia prima para la producción de los aceites lubricantes.
- Ceras parafínicas: Es la materia prima para la producción de velas y similares, ceras para pisos, fósforos, papel parafinado, vaselinas, etc.
- Benceno: sirve para fabricar ciclohexano.
- Bencina industrial: se usa como materia prima para la producción de disolventes alifáticos o como combustible domestico.

- Cocinol: especie de gasolina para consumos domésticos. su producción es mínima.
- Fuel oil: es un combustible pesado de hornos y calderas de industria.
- Ciclohexano: es la materia prima para producir caprolactama y ácido adípico con destino al nylon.
- Disolventes alifáticos: sirve para la extracción de aceites, pinturas, pegantes y adhesivos; para la producción de gas para quemadores industriales, elaboración de tintas, formulación y fabricación de productos agrícolas, de caucho, ceras y betunes, y para limpieza en general.
- Gas propano o GLP: se utiliza como combustible domestico e industrial.
- Gasolina de aviación: para uso en aviones con motores de combustión interna.
- Gasolina de motor corriente y extra: para consumo en los vehículos automotores de combustión interna, entre otros usos.
- Ortoxileno: es la materia prima para la producción de anhídrido ftálico.
- Polietileno: materia prima para la industria del plástico en general.
- Queroseno: se utiliza en estufas domesticas y en equipos industriales. Es el que comúnmente se llama petróleo.
- Tolueno: se usa como disolventes en la fabricación de pinturas, resinas, adhesivos, pegantes y tintas, y como materia prima del benceno.
- Turbocombustible o turbosina: gasolina para aviones jet, también conocida como jet-a.



- Xilenos mezclados: se utilizan en la industria de las pinturas.

El azufre que sale de las refinerías sirve para la vulcanización del caucho, fabricación de algunos tipos de acero y preparación de ácido sulfúrico entre otros usos.

El gas natural sirve como combustible para usos domésticos, industriales y para la generación de energía termoeléctrica.

En el área industrial es la materia prima para el sector de la petroquímica. A partir del gas natural se obtiene, por ejemplo, el polietileno, que es la materia prima de los plásticos. Del gas natural también se puede sacar gas propano. Esto es posible cuando el gas natural es rico en componentes como propanos y butanos.

2.4 Realidad del desrecalentador en una refinería de petróleo

Tanto por su eficiencia, como su coste, como su tamaño, los atemperadores de contacto directo juegan un papel muy importante para que se lleve a cabo el proceso de refino.

El vapor sigue siendo la manera más eficaz de transportar la energía desde el punto de producción al punto de uso. El vapor es una forma extremadamente versátil de energía para proporcionar fuerza motriz o energía en forma de calor.

Los desrecalentadores no se limitan sólo a las aplicaciones con vapor. Otros líquidos de proceso requieren también de refrigeración como Dow Therm, etileno, gas natural, propano, etc...; pero aquí se tratará únicamente de sus usos con vapor de agua.

Pero, ¿por qué se requiere del uso de atemperadores?

El vapor existe en dos formas básicas:

1.- **Vapor sobrecalentado:** es el vapor que se encuentra a una temperatura superior a la temperatura de saturación a una presión dada. Por ejemplo, un vapor a una presión de 3[bar], tiene una temperatura de saturación de 143,7[°C]. Si se le aportase más calor, manteniendo su presión constante, conseguiríamos vapor sobrecalentado.

El aporte adicional de calor da como resultado un vapor con las siguientes características:

- Tiene una temperatura mayor a la temperatura de saturación
- Contiene más energía que el vapor saturado
- Tiene un mayor volumen específico que el vapor saturado

2.- **Vapor saturado:** es el vapor en el equilibrio con agua líquida. Define el límite entre vapor húmedo y vapor sobrecalentado en el diagrama de temperatura-entalpía.

Por ejemplo:

{ Vapor a una presión de 3[bar] tiene una temperatura de saturación de 143,7[°C]
{ Agua a una presión de 3 [bar] tiene una temperatura de saturación de 143,7[°C]



Figura 16. Relación entre temperatura y entalpía para el agua

Sin embargo, la energía (entalpía) contenida en las dos condiciones saturadas es considerablemente diferente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Entalpía de vapor saturado: } 2738,2 \text{ [kJ/kg]} \\ \text{Entalpía del agua saturada: } 605,1 \text{ [kJ/kg]} \end{array} \right.$$

Las relaciones entre estas propiedades de vapor están bien documentadas y pueden encontrarse en la mayoría de los textos relativos a las propiedades termodinámicas de vapor.

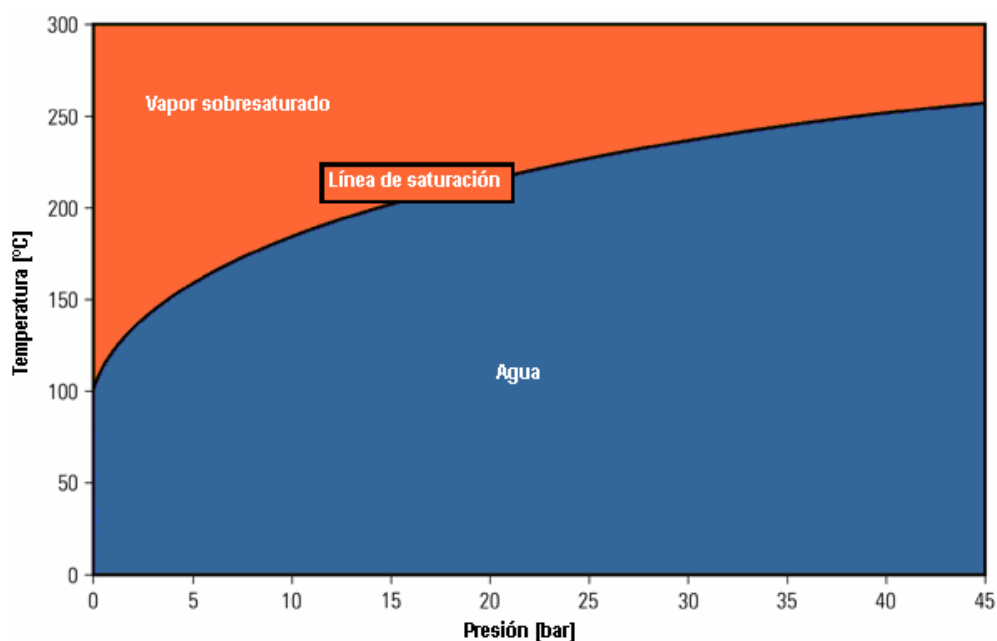


Figura 17. Relación entre temperatura y presión para el agua

Existen razones por las que se trabaja con vapor sobrecalentado:

- El vapor sobrecalentado se utiliza en la mayoría de plantas de proceso y en plantas de generación de energía como la fuerza motriz para turbinas y calentamiento de otros fluidos.
- Se pueden utilizar velocidades mayores en las tuberías (de hasta 100 [m/s]). Esto significa que se pueden utilizar tuberías de distribución más pequeñas (siempre que la caída de presión no sea excesiva).

- Para plantas de funcionamiento continuo, el uso de vapor sobrecalentado significa que no se producirá condensación en las tuberías, y por tanto, sólo habrá que hacer uso de las trampas de vapor durante la puesta en marcha.

Aún así, también nos encontramos que el uso de vapor sobresaturado tiene desventajas:

Aunque el vapor sobrecalentado contiene una gran cantidad de energía calorífica, esta energía está en tres formas; la entalpía de agua, la entalpía de evaporación (calor latente) y la entalpía de recalentamiento. La mayor parte de la energía está en la entalpía de la evaporación y la energía de recalentamiento representa una proporción menor.

Por ejemplo, si tomamos vapor sobrecalentado a 10 [bar] y 300[°C], entonces:

{	Entalpía de agua saturada = 763 [kJ/kg]
	Entalpía de vapor sobrecalentado = 3052 [kJ/kg]
	Entalpía de vapor saturado = 2777 [kJ/kg]
	Entalpía de sobrecalentamiento = 275 [kJ/kg] ($3052 - 2777 = 275$ [kJ/kg])
	Entalpía de evaporación = 2014 [kJ/kg] ($3052 - 763 - 275 = 2014$ [kJ/kg])

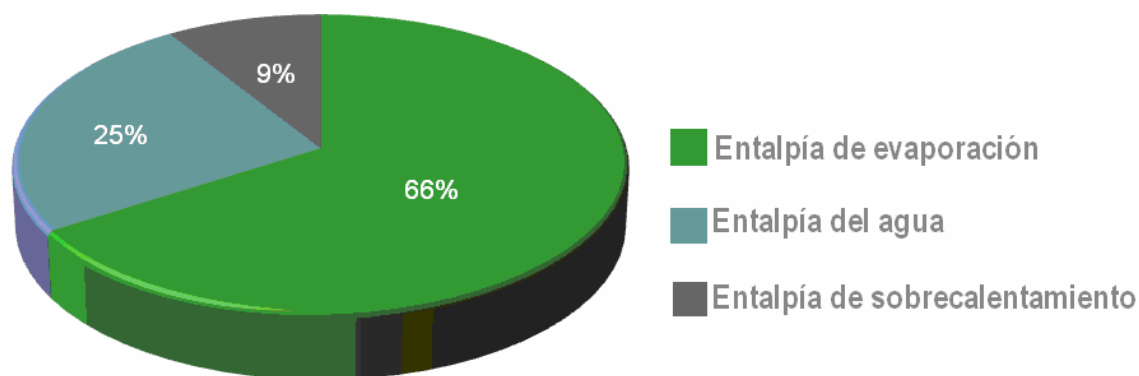


Figura 18. Composición entálpica de vapor sobrecalentado a 10 [bar] y 300[°C]

El coeficiente de transferencia de calor cuando se usa el vapor sobrecalentado como el medio de calentamiento es variable, bajo y difícil de cuantificar con precisión. Esto



hace difícil definir el tamaño en los equipos de transferencia de calor, lo que se traduce en un diseño más grande y costoso.

Una vez que el vapor sobrecalentado se enfría a la temperatura de saturación, el coeficiente de transferencia de calor aumenta considerablemente, y la temperatura a la que el vapor se condensa en el agua es constante. En este punto sí es más fácil el diseño en cuanto a tamaño y control en la transferencia de calor.

La presencia de altos coeficientes de transferencia de calor asociados a vapor saturado lleva a intercambiadores de calor más pequeños y más baratos que aquellos que utilizan vapor sobrecalentado.

Algunos procesos (por ejemplo, las columnas de destilación) funcionan con menos eficiencia cuando se alimentan con vapor sobrecalentado.

Las altas temperaturas de vapor sobrecalentado se traducen en rangos de temperatura más elevados, y por lo tanto se requiere de equipos más costosos.

Estas desventajas significan que el vapor sobrecalentado es generalmente indeseable para las aplicaciones de procesos térmicos. Sin embargo, existen lugares donde se produce el vapor sobrecalentado para la generación de energía, y tiene un sentido económico desrecalentar parte de este vapor desde algún punto de la generación de energía del ciclo y, a continuación, utilizarlo para aplicaciones de proceso.

En las plantas que tienen vapor sobrecalentado disponible para su uso en procesos, tiene sentido distribuir el vapor sobrecalentado a puntos remotos de la planta, como una manera de asegurar el transporte de vapor de un modo seco. Esto llega a ser significativo si hay largos tramos de tubería que separan el punto de generación y el punto de uso.

Las estaciones modernas de energía utilizan presiones de vapor mucho más altas, y por tanto mayores temperaturas para producir más eficientemente. Por ejemplo, si tomamos vapor sobrecalentado a 170 [bar] un y 585[°C], tendremos:

Entalpía de agua saturada a 170 bar = 1690 [kJ/kg]

Entalpía de vapor sobrecalentado = 3525 [kJ/kg]

Entalpía de vapor saturado a 170 bar = 2548 [kJ/kg]

Entalpía de sobrecalentamiento = 977 [kJ/kg] ($3525 - 2548 = 977$ [kJ/kg])

Entalpía de evaporación = 858 [kJ/kg] ($3525 - 1690 - 977 = 858$ [kJ/kg])

Utilizando alta presión/temperatura el vapor proporciona al usuario una mayor proporción de entalpía de recalentamiento con una reducción en el calor de entrada para lograr la entalpía de evaporación.

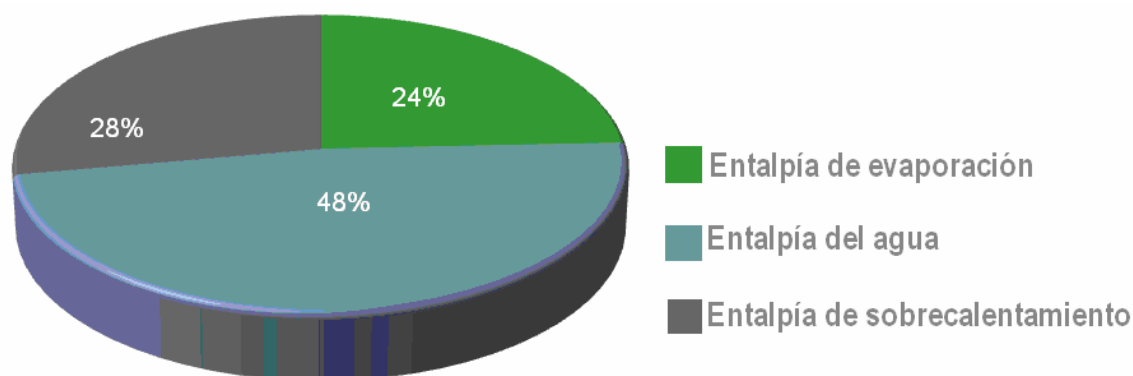


Figura 19. Composición entálpica de vapor sobrecalentado a 170 [bar] y 585[°C]

Las funciones de un desrecalentador en una planta industrial como es una refinería serán por tanto básicamente dos:

- Facilitar una fuente constante de vapor de media, baja o muy baja presión a través del desrecalentamiento del vapor de alta, media o baja presión que circula por los grandes colectores de la planta.
- Preparar el vapor sobresaturado al punto para que al pasar por los equipos adecuados contribuya con el calor latente de vaporización en su cambio de estado.



Se explican a continuación cada una de ellas con un ejemplo real y en el caso particular en el que nos encontramos.

2.4.1 Atemperadores como laminadores de vapor de agua

Las refinerías de petróleo se caracterizan por el enjambre de tuberías que transcurren por sus instalaciones. El vapor transporta energía cinética y térmica a la mayoría de puntos de la refinería.

El vapor de planta se requiere, por tanto en numerosas condiciones para las diversas demandas de proceso.

La distribución del vapor en la planta a menudo se suministra en tres condiciones diferentes:

- Colector de alta presión (“HP Steam Header”): transporta agua sobrecalentada a 400[°C] y 49,5 [bar].
- Colector de media presión (“MP Steam Header”): transporta agua sobrecalentada a 320[°C] y 15 [bar].
- Colector de baja presión (“LP Steam Header”): transporta agua sobrecalentada a 240[°C] y 7,3 [bar].

Dependiendo del uso de las instalaciones en cada momento se requerirá mayor suministro de una que de otra. Así, si nos encontramos con falta en el suministro de media o baja presión, los atemperadores que se encuentran entre ellos se pondrán en funcionamiento y transformarán vapor de alta presión en vapor de media presión, o vapor de media presión en vapor de baja presión o vapor de baja presión en vapor de muy baja presión.

En la figura 20 se pueden ver las tres grandes tuberías de alta, media y baja presión, que se encuentran conectadas entre sí por medio de dos desrecalentadores, creando de

este modo escaleras de presión. De cada una de estas tres ramas principales aparecen extracciones que se dirigen a diferentes unidades.

Sin el uso de atemperadores no tendríamos la posibilidad de transformar la alimentación del vapor, robando flexibilidad al funcionamiento de la planta, lo que se traduce en pérdidas económicas.

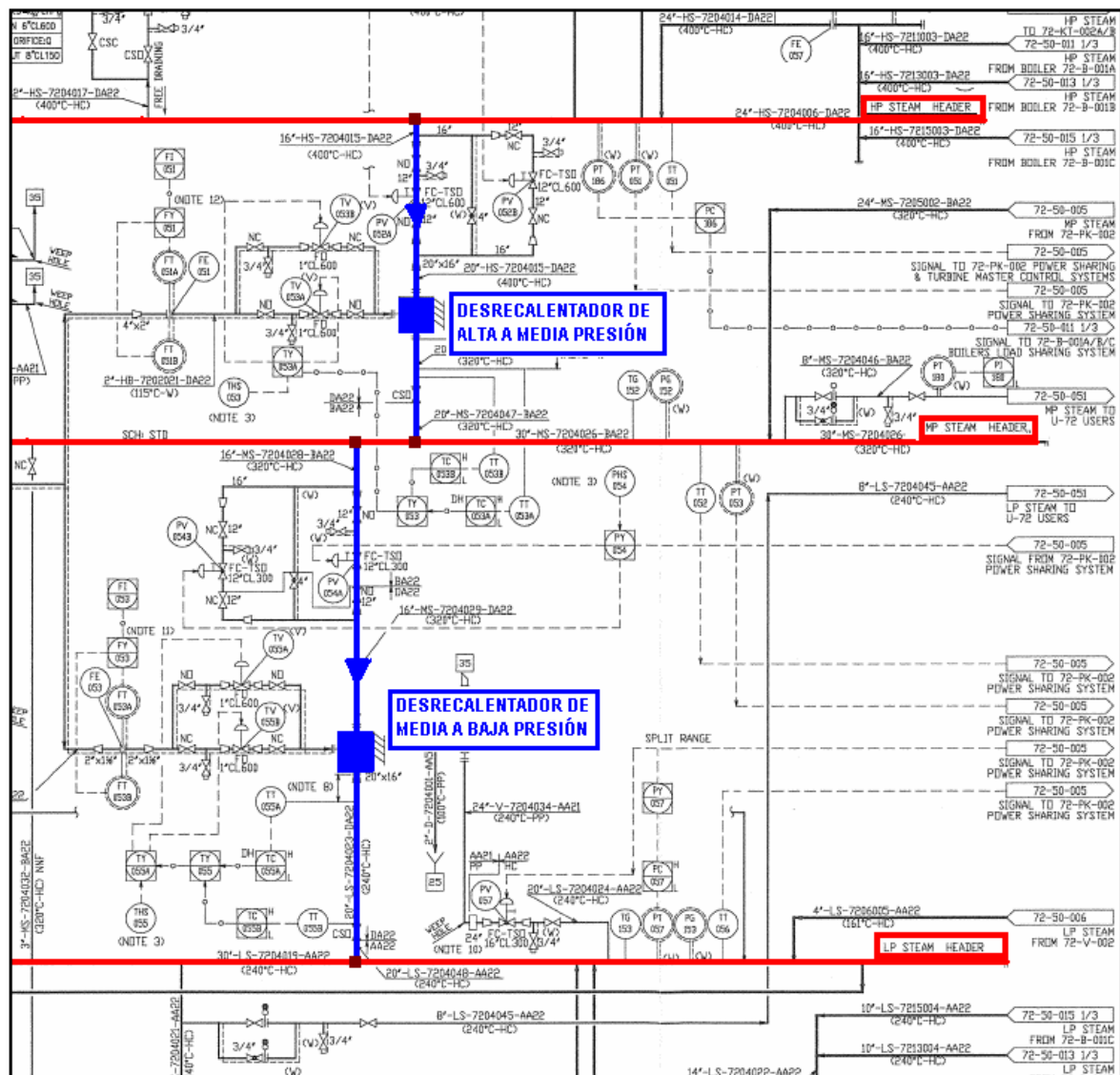


Figura 20. Ejemplo de laminación de vapor sobresaturado por medio de atemperadores

2.4.2 Atemperadores para aporte de calor en procesos de planta

La unidad a la que vamos a incorporar nuestro atemperador, unidad de aminas, es un claro ejemplo del uso de estos equipos para adecuar el vapor sobrecalentado que circula por nuestras tuberías a una temperatura cercana a la de la saturación para que ceda el calor de cambio de estado en una zona concreta de otra unidad.

La unidad de aminas se encarga de la absorción del H_2S contenido en las fracciones más ligeras del petróleo. Las aminas más utilizadas son la monoetanolamina (MEA) y la dietanolamina (DEA). La concentración de la amina en la disolución varía en cada aplicación, según las condiciones de operación y la presencia de los contaminantes

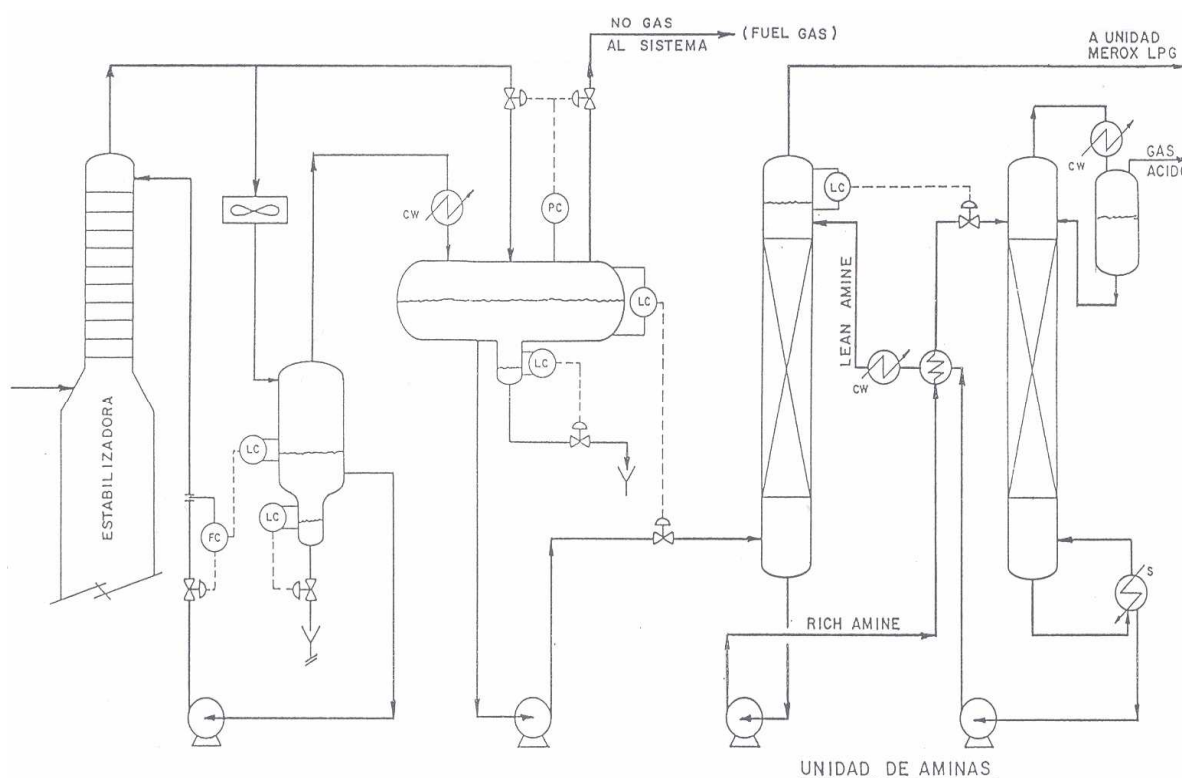


Figura 21. Cabeza de columna estabilizadora y unidad de aminas



El proceso de extracción, cuyo esquema general se incluye en la figura 21, consiste en un doble ciclo. La solución rica (“rich amine”) en H_2S y otros compuestos sulfurados y CO_2 , que puedan estar presentes en la alimentación, sale del absorbedor, se calienta y se somete a una destilación “flash”, en un separador (“stripper”), por cuyo fondo se aporta calor en un hervidor. Los productos extraídos, junto con parte de la solución vaporizada escapan por cabeza, pasando a un condensador, en el que se condensa el agua, que se reintroduce como reflujo en la columna, pero no el H_2S , el CO_2 , ni otros gases inconfensables, como el sulfuro de carbonilo (COS), que se separan por la parte superior del acumulador de cabeza y se envían a la unidad de recuperación de azufre. La amina regenerada (“lean amine”) intercambia calor con la fría y con agua de refrigeración reintroduciéndose nuevamente en el absorbedor.

Desgraciadamente, la amina sufre una degradación continua por efecto de su reacción con el anhídrido carbónico, y sobre todo, con el sulfuro de carbonilo. Es por ello, que la disolución de amina debe reponerse con relativa frecuencia.

En la figura 22 vemos el diagrama de flujo en el que aparece el desrecalentador que deberemos incorporar junto con la unidad de aminas. La parte de unidad que aparece representada es el regenerador de aminas, al cual entra amina rica por la parte superior de la columna, proveniente de la absorbidora, que no aparece en el diagrama. Los elementos más volátiles escapan por cabeza y son dirigidos hacia un condensador. El resto sale por el fondo de la columna y se dirige a un recalentador. Este recalentador ejerce su función gracias al vapor de agua procedente de nuestro atemperador. El vapor de agua saliente de la unidad atemperadora se encuentra a punto de la saturación, y cumple con el cambio de fase a su paso por el recalentador, de modo que cede todo el calor latente de vaporización al líquido de proceso que en ese momento lo atraviesa. Las partes más volátiles de líquido de proceso se evaporan y retornan a la columna de forma que servirán como fuente de calor en el proceso, y a su vez, por el fondo del equipo sale la amina regenerada que no ha llegado a evaporarse, que se enviará de vuelta al absorbedor.

De esta manera, se aprovecha el vapor sobresaturado como fuente de calor para el proceso de destilación, lo que conlleva un claro beneficio económico.

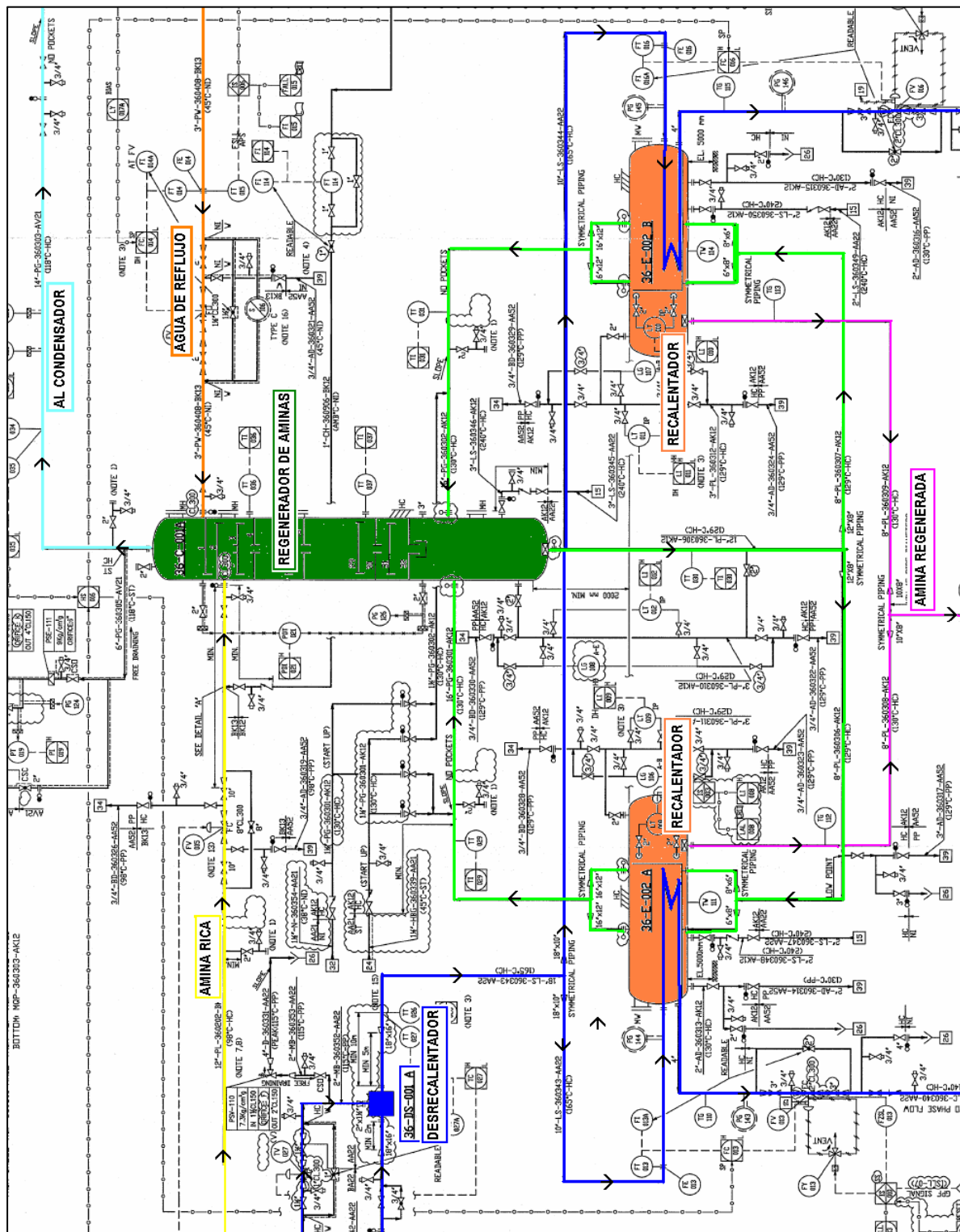


Figura 22. Diagrama de flujo del desrecalentador integrado en la unidad de aminas

Capítulo 3

Descripción de alternativas de diseño

3.1 Métodos de atemperar de tipo “de contacto directo”

Nos encontramos ante dos tipos de enfoque. El primero de ellos se basa en condicionar al líquido refrigerador de tal manera que pueda ser absorbido fácilmente por el vapor sobrecalentado que está siendo desrecalentado. El segundo enfoque se basa en condicionar el vapor de tal manera que acepte fácilmente al líquido refrigerador en cualquier manera que aparezca. Las tablas 1 y 2, ilustran a modo de esquema, los dos métodos y explican cómo se utilizan en varios tipos de desrecalentadores.



3.1 Métodos de atemperar de tipo “de contacto directo”

<i>Objetivo</i>	<i>Método</i>	<i>Efecto</i>	<i>Designación Equipo</i>
Condicionando el agua de refrigeración para hacerla más fácilmente aceptable por el vapor	Por precalentamiento	El agua se evapora más rápidamente con la presencia del vapor. La tensión superficial del agua se ve reducida, de manera que el agua se rompe en diminutas y finas partículas	Precalentador
	Rociando el agua refrigerante a alta presión	La atomización mecánica produce las finas partículas de agua que exponen mayor área de contacto con el vapor. Alta velocidad diferenciada entre el vapor y el agua para aumentar intercambio de calor	MA SAMN MNSD
	Acelerando el agua de refrigeración a alta velocidad	La gran diferencia en cuanto a velocidad entre el vapor y el agua asegura una buena extracción y un rápido intercambio de calor que se traduce en la reducción del tamaño de la partícula de agua	SA-35

Tabla 1. Atemperadores en base al Principio



<i>Objetivo</i>	<i>Método</i>	<i>Efecto</i>	<i>Designacion Equipo</i>
Condicionando el vapor para hacerlo más fácilmente aceptable por el agua refrigerante	Por reducción de la presión del vapor en el punto de la entrada del agua (el agua entra con una caída de presión insignificante)	La alta diferencia de velocidad entre el vapor y el agua asegura el rápido intercambio de calor (baja velocidad del agua, alta velocidad del vapor). La turbulencia creada por la reducción de la presión asegura una mezcla completa y homogénea entre el agua y el vapor	VAD VO

Tabla 2. Atemperadores en base al Principio 2

Principio 1 - Condicionamiento del líquido refrigerador

Los métodos para acondicionar el líquido refrigerador incluyen la atomización mecánica o la atomización del mismo debido a la velocidad del flujo. La atomización rompe el líquido refrigerador en finas partículas de modo que aumenta el área superficial que se expone al vapor. Esto ayuda a acelerar el proceso de traspaso térmico.

La atomización mecánica se alcanza sometiendo al líquido refrigerador a un incremento de presión mientras atraviesa una restricción fija como un orificio agudo en el borde o un inyector de aerosol.

La velocidad de atomización se alcanza usando un suministro de vapor atomizado que se introduce simultáneamente con el refrigerante que es propulsado aguas abajo en el vapor principal a alta velocidad. Se crea así un diferencial de velocidad entre los fluidos que provoca un desgaste sobre las partículas refrigerantes que han sido creadas cuando el refrigerante se propulsó en el vapor principal. Las capas mas superficiales del refrigerante



son arrancadas y las finas partículas resultantes exponen una gran área superficial, por lo que son fácilmente absorbidas por el vapor.

Principio 2 - Condicionamiento del vapor

El método usado es condicionar el vapor de tal forma que acepte el refrigerante y lo absorba fácilmente, produciendo una caída de presión en el vapor, lo que provoca un aumento de la velocidad del vapor y grandes turbulencias en el flujo.

La situación ideal la encontraremos introduciendo el líquido refrigerador en el vapor en el momento en el que éste discurre a la velocidad más alta y la presión más baja, de manera que promueva una rápida atomización y una rápida absorción del líquido refrigerador.

Así, el líquido refrigerador entra en contacto con el vapor e inmediatamente se produce una caída en la presión y un aumento simultáneo en la velocidad, que también provoca la atomización del líquido refrigerador. Las partículas del líquido refrigerador así formadas están también sujetas a una atomización adicional debido a la diferencia de velocidad que existe entre el vapor y el líquido refrigerador.

Además, si el líquido refrigerador se incorpora en el punto de máxima caída de presión del vapor sobrecalentado, entonces se produce un efecto aspirante en el punto de descarga del refrigerante, lo cual induce al refrigerante a ser atraído en el vapor donde sufre una repentina bajada en la presión y un incremento en la velocidad que sirve para alcanzar la requerida atomización del refrigerante y el exitoso desrecalentamiento.

Cuando se produce este acercamiento, la turbulencia creada por la caída de presión en el vapor promueve un estrecho proceso de mezclado del líquido refrigerador y del vapor creando una trayectoria irregular por la que la partícula del líquido refrigerador tendrá que desplazarse, prolongando de esta manera el tiempo en contacto con el vapor sobrecalentado.

3.2 Tipos de atemperadores “de contacto directo”

Existen varios tipos de desrecalentadores que emplean los dos métodos citados anteriormente. Cada tipo de desrecalentador tiene una serie de limitaciones específicas y es importante conocer exactamente qué se requiere de la unidad antes de seleccionar el tipo de atemperador.

3.2.1 Desrecalentadores en base al *Principio 1*

3.2.1.1 Desrecalentadores que atomizan mecánicamente

Ésta es la forma más simple de un desrecalentador. Consiste en un spray en forma de tubo insertado en la tubería principal del vapor sobrecalentado, a través del cual el líquido refrigerador entra. La zona de descarga del spray consiste en una boquilla de área fija. Muchos diseños incorporan una zona en forma de espiral previa a la boquilla, para crear turbulencias en el líquido refrigerador antes de que alcance el inyector, lo que da lugar a un modelo de cono vacío que emerge de la boquilla.

El flujo de líquido refrigerante que se ha de añadir depende de varios factores, los cuales están representados en la ecuación 1.

$$q_v = C \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

Ecuación 1

q_v = flujo volumétrico de refrigerante [m^3/s]

C = coeficiente de descarga del orificio

A = área del orificio [m^2]

g = constante gravitacional [9.81 m/s^2]

h = caída de presión a través del orificio



Figura 23. Atomizador mecánico MA

El líquido refrigerador entra en el inyector a una presión superior a la del vapor sobrecalentado, proporcionando una caída de presión a través del inyector de la descarga, que promueve la atomización mecánica del líquido refrigerador. Debido a que la unidad tiene una boquilla en la descarga de área fija, la caída de presión se regirá según la ecuación 1 en la que vemos que $q_v \propto \sqrt{h}$, por lo que la presión se verá reducida enormemente con el descenso de flujo de refrigerante. En consecuencia, y debido a que la experiencia ha demostrado que una caída de presión mínima de 2,8 [bar] es la que se requiere para una correcta atomización del líquido refrigerador. El rango de este tipo de desrecalentador es, por tanto, algo limitado. El rango máximo absoluto posible es de 1.5:1, teniendo en cuenta que en el flujo mínimo del líquido refrigerador la caída de presión en el inyector ha de ser como mínimo de 2,8[bar].

La descarga del líquido se producirá por tanto bajo una gran caída de presión y abandonando el inyector a una velocidad relativamente alta, con lo que las partículas de refrigerante podrán recorrer cierta distancia antes de mezclarse con el vapor

sobrecalentado y que el proceso de absorción pueda comenzar. Por esta razón es recomendable dejar un tramo recto de tubería de por lo menos seis metros aguas abajo del inyector. Además, necesitaremos que la velocidad del vapor sea relativamente alta para acelerar el proceso de absorción y asegurarse de que las partículas del líquido refrigerador se mantienen en suspensión. La velocidad del vapor en la condición de flujo mínimo debe ser aproximadamente de 25 [m/s].

En la figura 24 se muestra un desrecalentador que atomiza mecánicamente y en la figura 25 vemos el sistema típico que utiliza este tipo de unidad, la cual es capaz de controlar la temperatura final del vapor dentro de un margen de 8[°C] del punto de ajuste requerido. Se recomienda el uso de forros térmicos como protectores de la tubería principal siempre y cuando la diferencia de temperatura entre vapor y líquido refrigerante exceda de 230[°C].

- **Ventajas:**

- Funcionamiento simple
- Sin partes móviles
- Rentable en toda su gama de tamaños
- Mínima caída de presión

- **Desventajas:**

- Bajo rango en el turndown, con un máximo del orden de 1,5 :1 ,para el lado del agua
- La temperatura del vapor sobrecalentado sólo puede reducirse del orden de 10[°C] por encima de la temperatura de saturación
- Más propensas a causar daños por erosión en el interior de la tubería, que puede solventarse con el uso de un forro térmico

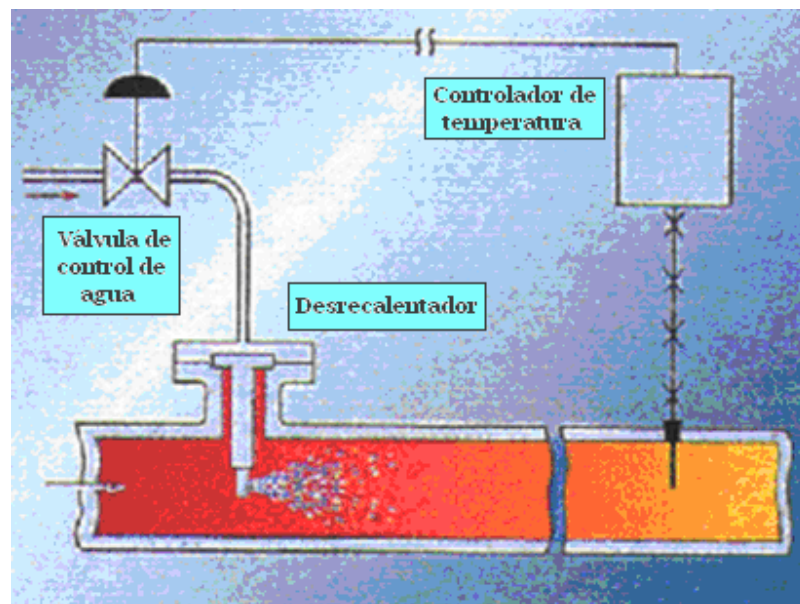


Figura 24. Principio del sistema para DSH que atomizan mecánicamente

• **Aplicaciones:**

- Carga constante de vapor
- Temperatura constante del agua de refrigeración

Todo lo dicho implicará unos requerimientos de agua de refrigeración relativamente constantes.

3.2.1.2 Desrecalentadores que atomizan mecánicamente con varias boquillas

Lo que se pretenderá a partir de ahora, será pues encontrar nuevos métodos para aumentar el rango de uso de los desrecalentadores. Lo que necesitaremos por tanto será poder regular el área de la boquilla de descarga conforme variemos el flujo de refrigerante, de manera que consigamos mantener la caída de presión a través del orificio de la descarga, asegurándonos así de que el proceso de atomización mecánica se mantiene.

Para conseguir este objetivo se puede usar un tubo de spray con más de una boquilla. Dentro de la boquilla del spray hay un actuador accionado con un muelle. Mientras que el sistema envía la señal para que comience el desrecalentamiento, la válvula del agua se abre para permitir el paso de refrigerante al inyector. Éste se diseña de tal manera que cuando la presión del agua crece en el tubo, el desequilibrio del actuador superará la fuerza del muelle y este subirá y expondrá las boquillas de descarga al flujo. A medida que la presión suba más debido al incremento de la presión del agua, el actuador ascenderá más hasta que las boquillas se abran. Después de que ésto ocurra el flujo de agua incrementará la presión trasera del tubo de spray lo cual llevará a un incremento del flujo a través de las boquillas.

Si se reduce la corriente, ocurrirá el hecho contrario y el resorte hará que el actuador se cierre completamente. El diseño se muestra en la figura 25.

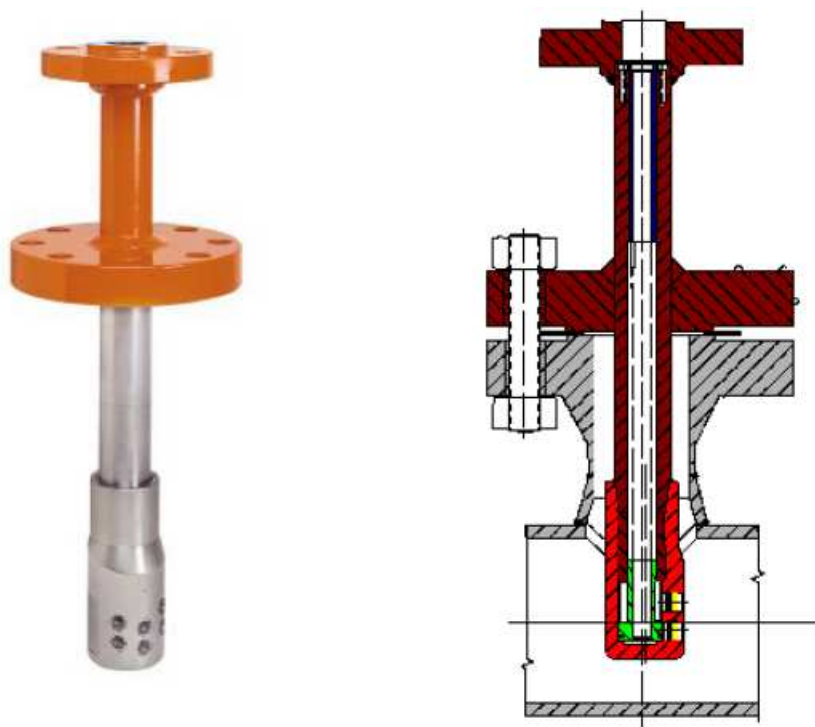


Figura 25. DSH con varias boquillas (SAMN)

Una solución alternativa consiste en un aerosol en tubo con una serie de inyectores al final de él, los cuales incorporan un dispositivo para regular el área de descarga según la

cantidad de refrigerante que se suministra. Una unidad típica que incorpora este mecanismo es la que se muestra en la figura 26.

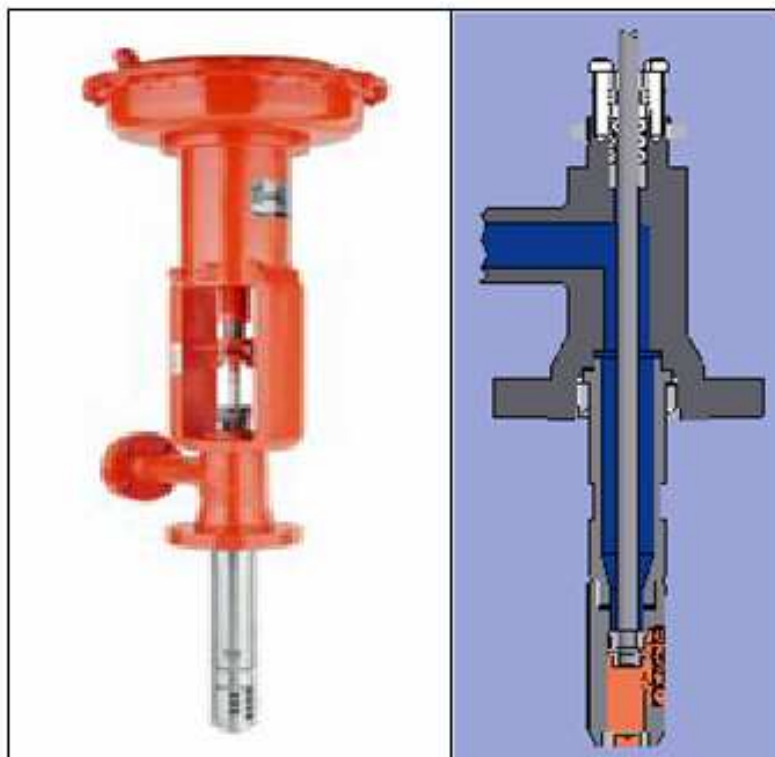


Figura 26. DSH con varias boquillas (MNSD)

Cuando no se requiere ningún desrecalentamiento el actuador moverá el obturador interno a su posición más alta donde se asentará y parará completamente el flujo del líquido refrigerador a los inyectores de la descarga.

Si el sensor de temperatura detecta una subida en la misma enviará la orden al actuador de abrir el obturador, despejando sucesivamente los inyectores y permitiendo que el líquido refrigerador descargue en el flujo del vapor. El líquido refrigerador pasa a través de un compartimiento con una forma especial antes de alcanzar el inyector. Gran parte de la energía disponible proveniente de la diferencia de presión es consumida dentro de los orificios, lo cual intensifica la atomización mecánica.

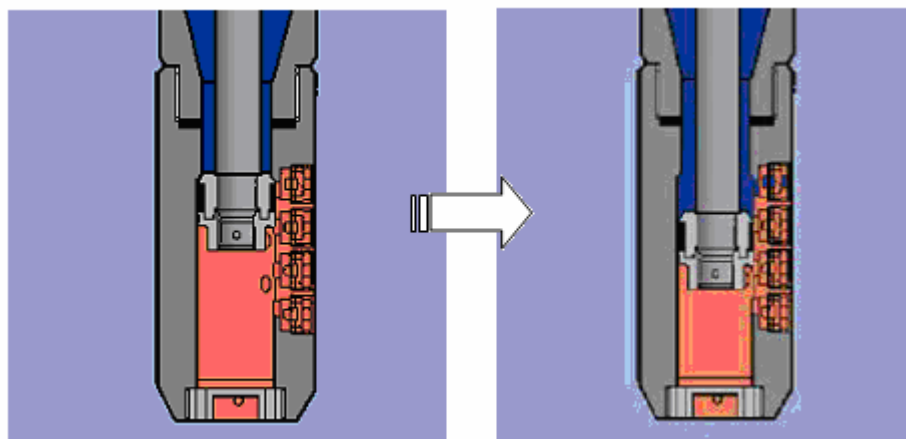


Figura 27. Modo de actuación de DSH con varias boquillas MNDS

La neblina resultante se descarga a una velocidad muy baja. Esto promueve la rápida absorción y una eficiencia óptima al desrecalentador, incluso en rangos bajos de flujo.

El spray resultante del primer orificio se descarga a lo largo de 1 metro del punto de descarga. A medida que el obturador continúa moviéndose hacia posiciones de mayor apertura, la turbulenta interacción entre las descargas de los diferentes inyectores provoca que la salida siga un patrón en forma de cono estrecho. Esto mantiene las partículas del agua en el centro de la tubería del vapor, donde la línea de turbulencia es lo más grande posible.



Figura 28. DSH MNDS en funcionamiento

La figura 29 muestra el lazo de control usado en el tipo de desrecalentador de orificios múltiples, el cual es capaz de controlar la temperatura final del vapor en un intervalo de 5[°C] del punto de ajuste y con un turndown en flujo de hasta 75:1.

Al igual que con el desrecalentador que atomiza mecánicamente, la velocidad del vapor en la tubería principal es un factor importante a tener en cuenta. Y si es necesario deberá proveerse de una línea en la que tengamos una velocidad como mínimo de entre 8 y 9 [m/s] de flujo mínimo.

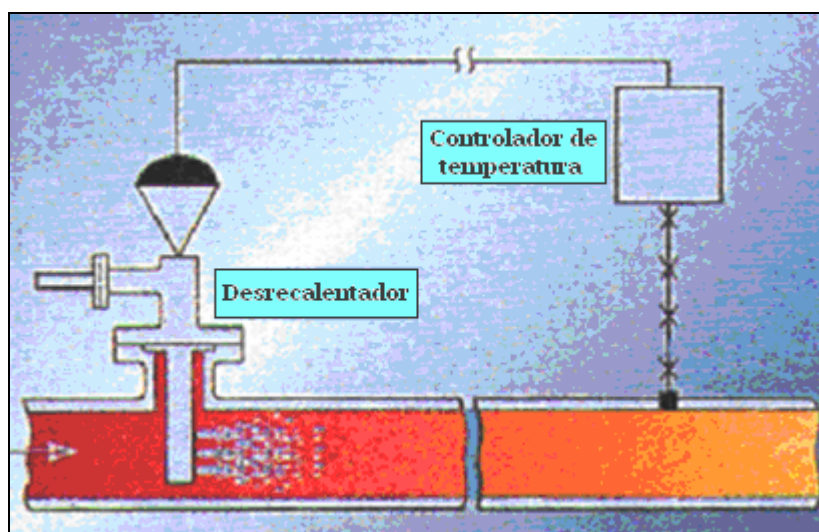


Figura 29. Principio del sistema para DSH con varias boquillas

Se recomendará el uso de una camisa térmico si la diferencia de temperaturas entre el líquido y el vapor supera los 230[°C]. El sensor de temperatura deberá colocarse a aproximadamente 8 metros aguas abajo con 6 metros como poco de tubería estrictamente recta.

• **Ventajas:**

- Altos rangos de turndown, por encima de 8:1
- Mejor dispersión de las gotas de agua, lo que implica que la longitud de absorción es menor que con un solo orificio
- Mínima caída de presión

- **Desventajas:**

- La temperatura del vapor sobrecalentado sólo puede ser reducido a 8[°C] por encima de la temperatura de saturación
- Son las más propensas a causar daños por erosión en el interior de la tubería si no se usan forros térmicos
- No es adecuado para tuberías pequeñas
- Requiere de una alta presión en el agua de refrigeración
- Algunos tipos específicos de esta clase, como los de área variable de orificio pueden resultar muy costosos

- **Aplicaciones:**

- Aplicaciones en las que los altos turndowns lo requieren (los desrecalentadores de un solo orificio no son posibles), pero no en aquellos que sólo se busque sofisticación
- Carga constante de vapor
- Temperatura constante del vapor sobrecalentado
- Temperatura constante del agua de refrigeración

Todo lo cual requiere de una carga de desrecalentamiento relativamente constante

3.2.1.3 Desrecalentadores con vapor atomizado

Este tipo de desrecalentadores fueron desarrollados para obtener un spray más uniforme bajo condiciones de carga variable, y en los que la caída de presión mínima en el flujo principal de vapor pudiese ser tolerada.

El vapor y el líquido refrigerador se llevan por separado a la cabeza del aerosol y se utiliza el vapor atomizado para acelerar la descarga del líquido refrigerador en la tubería del vapor.

La cabeza del aerosol tiene una serie de inyectores circulares de diferentes tamaños para satisfacer la cantidad y la caída de presión del líquido refrigerador. El líquido refrigerador se introduce por el centro de la cabeza del spray y descarga a través de unos agujeros radiales en el inyector, los cuales son perpendiculares al flujo principal del vapor. El vapor atomizado proveniente de una fuente de alta presión se introduce a través de los puntos de carga del vapor dispuestos en el mismo plano horizontal que el flujo principal del vapor, y por lo tanto perpendiculares a la descarga del líquido refrigerador. El vapor atomizado se expande a lo largo de cada uno de los inyectores del líquido refrigerador proyectándolo a alta velocidad en forma de pequeñas gotitas en el vapor de cabecera, donde se distribuye y se vaporiza.

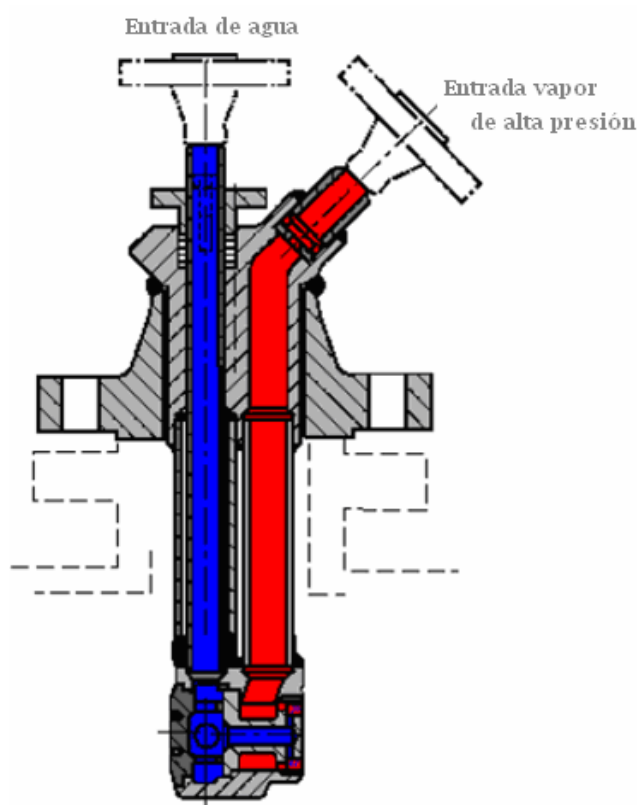


Figura 30. Desrecalentador con vapor atomizado SA-35

La expansión natural del vapor atomizado y el patrón resultante de la descarga dan lugar a que las partículas del líquido refrigerador sean rodeadas por una envoltura del vapor, permitiendo al proceso de desrecalentamiento ser rápido y completo.

Los flujos del vapor atomizado son constantes cuando el desrecalentador está en funcionamiento, lo que significa que el proceso de atomización es completamente eficaz a cualquier carga. Esto compensa por completo el descenso del beneficio obtenido del proceso de mezcla y la capacidad de carga del vapor principal en cabecera, ya que el flujo se reduce. Esta característica es la contraria a la de la mayoría de los otros tipos de desrecalentadores de spray.

La limitación de este tipo de desrecalentador es que se necesita una fuente de vapor atomizado a alta presión, y bajo ciertas condiciones puede ocurrir que el líquido refrigerador que se está agregando reduzca la temperatura del vapor atomizado, lo cual afecta al turndown que podemos alcanzar con este tipo de unidad. De modo general un turndown de 16:1 en flujo es fácilmente asumible.

La figura X ilustra un típico desrecalentador que atomiza el vapor, y la figura X muestra una instalación esquemática de este diseño, que es capaz de controlar la temperatura final dentro de 5[°C] del punto de ajuste requerido, la cual se puede fijar hasta a 8[°C] sobre la temperatura de saturación.

- **Ventajas:**

- Muy buenos turndowns, de hasta 25:1 en el lado del vapor, pero su eficiencia y control son mejores cuando tratamos con turndowns de 20:1
- Muy compacto, con una longitud de absorción corta en relación a otros atemperadores
- El agua de refrigeración puede proveerse a menor temperatura ya que el vapor atomizado la precalentará
- Buen rango de aproximación a la temperatura de saturación, del orden de 8[°C] por encima

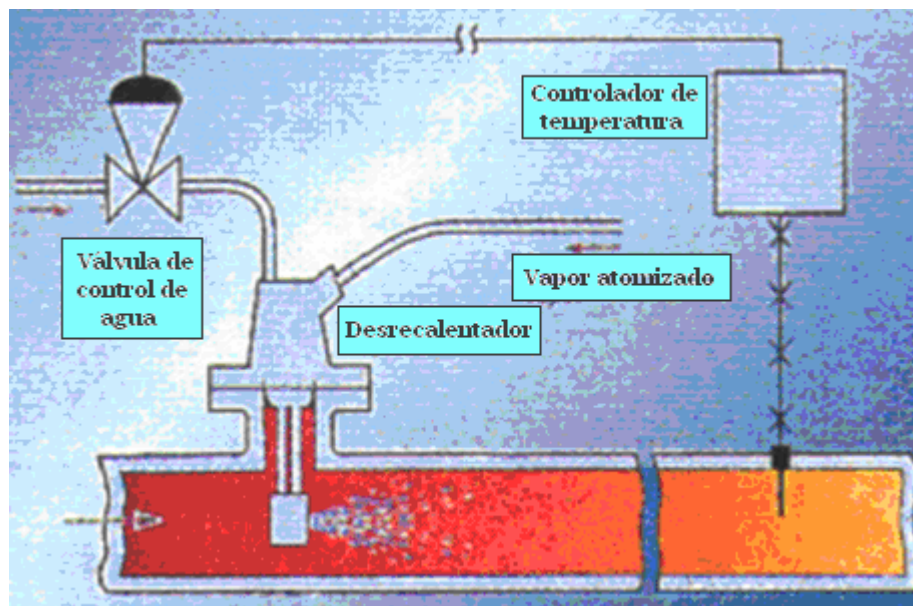


Figura 31. Principio del sistema para DSH con vapor atomizado

• **Desventajas:**

- Se requiere de un flujo auxiliar de vapor a alta presión
- La cantidad de equipo extra y tuberías adicionales que se requieren para su instalación lo hacen muy caro

• **Aplicaciones:**

- Adecuado para aplicaciones en las que el caudal de vapor es muy variable, por ejemplo en reductores de presión combinados o en estaciones desrecalentadoras

3.2.2 Desrecalentadores en base al *Principio 2*

Los desrecalentadores descritos arriba emplean el primer método de desrecalentamiento, es decir el condicionamiento del líquido refrigerador, de tal manera que sea aceptado fácilmente por el vapor. Ahora se discutirán los diseños que utilizan el segundo método, es decir, el de condicionar el vapor para aceptar el líquido refrigerador en cualquier forma que se presente.

3.2.2.1 Desrecalentadores de tipo Venturi

Este tipo de desrecalentador consiste en un dispositivo que produce una reducción en el área de la tubería del vapor principal, de tal forma que el vapor experimenta una ligera caída de presión. Esto tiene el efecto de aumentar la velocidad del vapor y de hacer del flujo altamente turbulento.

El líquido refrigerador se introduce en el flujo del vapor en el punto de menor presión donde además de experimentar una caída en la presión, se producirá un aumento en la velocidad, que será lo que promueva la atomización del líquido refrigerador y de que se produzca la mezcla del vapor y del líquido. Este diseño es particularmente ventajoso en líneas de vapor pequeñas o en aquellas en las que se toleren caídas de presión relativamente altas.

Una de las desventajas del tipo venturi es el hecho de que utiliza un orificio fijo. Si se diseña para una caída de presión baja entonces el rango de la unidad tenderá a ser limitado. Si la unidad se diseña para una caída de presión alta para aumentar el rango de uso, entonces la caída de presión en la tubería del vapor puede ser inaceptable en el sistema cuando estemos en condiciones de flujo superiores. La figura 32 muestra un típico desrecalentador de Venturi, el cual será capaz de controlar la temperatura final dentro de 2[°C] del punto de ajuste requerido.



Figura 32. Desrecalentador tipo Venturi

Una alternativa a este diseño es la de emplear un cono insertado en la cañería del vapor con una fuente del líquido refrigerador que es alimentada en el centro del cono, como se ve en la figura 33. Como el vapor pasa entre el borde externo del cono y el diámetro interior de la tubería, se produce una caída de presión, lo que provoca un aumento en la velocidad del flujo del vapor. Esto fomenta la introducción del líquido refrigerador, que es, en primer lugar, aspirado en el flujo del vapor y que posteriormente experimenta una caída en la presión y un aumento en la velocidad que hace que el líquido refrigerador se vaporice.



Figura 33. Desrecalentador tipo Venturi VAD

Estos desrecalentadores tienen la cabeza de aerosol montada de forma concéntrica dentro de una sección de la tubería. El contorno de la cabeza del aerosol se diseña para acelerar uniformemente y dirigir suavemente el vapor sobrecalentado hacia un área más pequeña entre la cabeza del aerosol y la pared interna de la tubería. Esta restricción de área acelera el vapor provocando una leve disminución de la presión. El líquido refrigerador se introduce en este punto perpendicularmente al flujo del vapor. El líquido que sale experimenta un aumento inmediato en la velocidad y una disminución correspondiente de la presión, lo cual provoca que se vaporice en una capa delgada la

cual se separa del borde de la cabeza del aerosol maximizando así el área de contacto entre el vapor y el líquido refrigerador dando lugar de forma rápida al traspaso térmico y a la evaporación. El líquido refrigerador también se introduce en el vapor en el punto de máxima velocidad y turbulencia; el vapor decelera después de pasar la cabeza del aerosol y evapora rápidamente cualquier líquido refrigerador restante.

El diseño único de la cabeza del aerosol es el factor fundamental, que promueve el alto turndown disponible para este desrecalentador. En sentido descendiente hay una placa con un extremo ligeramente anguloso que crea un vórtice de bajas presiones que induce de forma adicional la atomización y la evaporación mecánicas.

A diferencia del desrecalentador tipo Venturi mostrado en la figura 34, vemos que este tipo posee un anillo de refrigerante que es infinitamente variable. Esta pieza anular autorreguladora garantiza una introducción circunferencial completa de 360° del líquido refrigerador alrededor de la cabeza del aerosol asegurando una distribución uniforme en el vapor, incluso bajo condiciones de flujo bajo. Esto es crítico para el control constante en grandes turndowns.

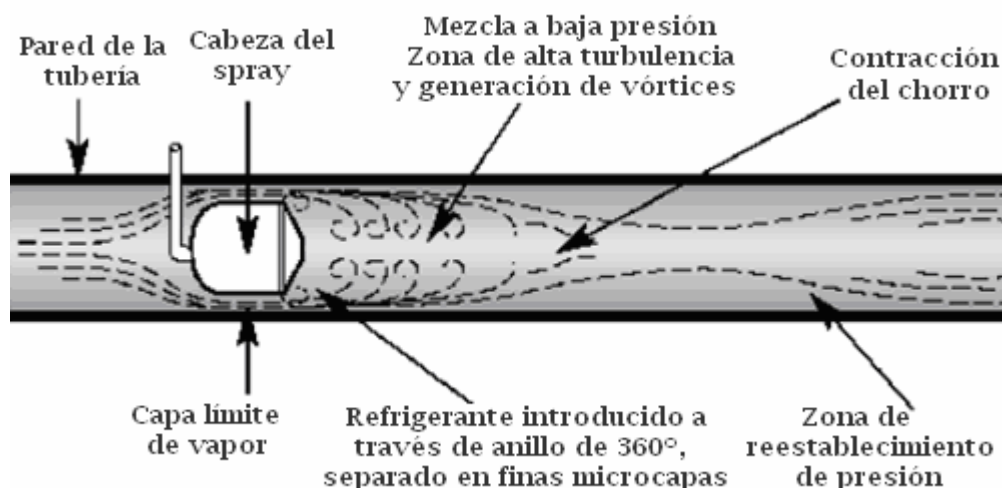


Figura 34. Principio de funcionamiento en DSH tipo VAD

La caída normal de presión de vapor a través de este tipo es 0,15 [bar]. La caída de presión máxima permitida es de entre 1 [bar] y 1,4[bar].

- **Ventajas:**

- Rangos de turndown, de hasta 15:1 en el lado del agua
- Principio de funcionamiento simple (aunque de más complejidad que el de tipo spray)
- Control preciso de la temperatura del vapor desrecalentado; normalmente de 5°C por encima de la temperatura de saturación
- Conveniente para operaciones de vapor tanto constantes como variables
- No se produce desgaste en las tuberías aguas abajo en comparación con los atemperadores tipo spray, ya que el agua es expulsada en forma de niela en vez de en aerosol

- **Desventajas:**

- Se produce una caída de presión (aunque generalmente es pequeña y dentro de los límites asumibles)
- Se requiere mayor espacio para su instalación que el atemperador que usa vapor atomizado, ya que la longitud de absorción es mayor
- Se requiere un flujo mínimo de agua de refrigeración
- La velocidad varía con el flujo del vapor
- En un cierto punto la velocidad escasa puede afectar la atomización deseada del líquido refrigerador.

- **Aplicaciones:**

- Conveniente para los usos más generales de plantas industriales, salvo en casos en los que se requieran altos turndowns en el lado del vapor

3.2.2.2 Desrecalentadores de Orificio Variable

El desrecalentador de orificio variable también utiliza la caída de presión del vapor principal, pero emplea un orificio variable que es autoajustable según la cantidad de vapor que se emplee.

Es una de las unidades más eficientes actualmente disponibles, capaz de controlar la temperatura final del vapor dentro de $2[^\circ\text{C}]$ sobre un rango del turndown de 100:1.

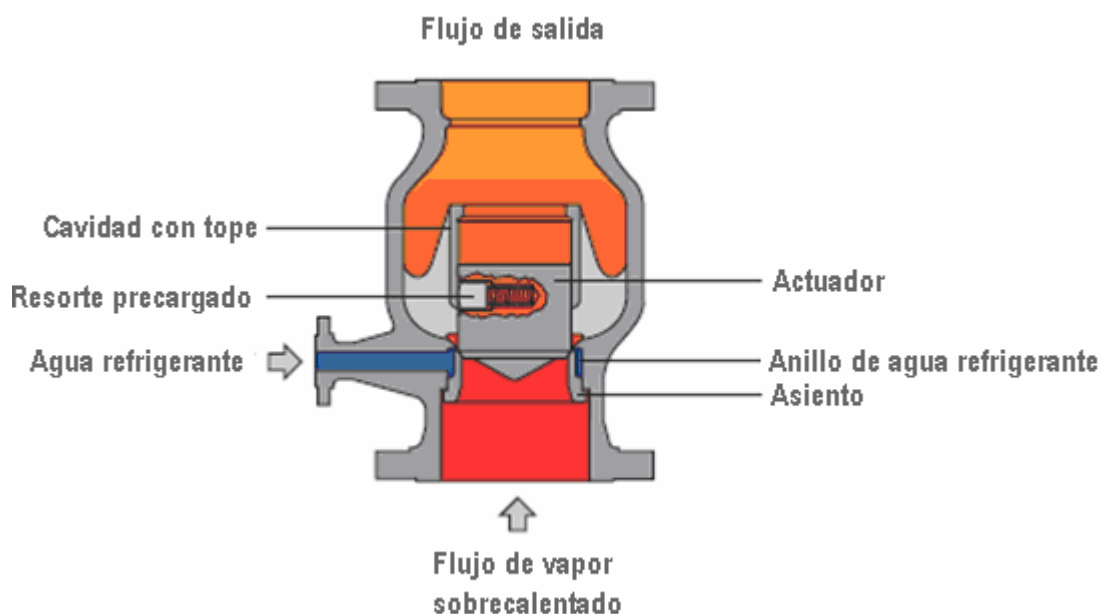


Figura 35. Desrecalentador de orificio variable (VO)

El desrecalentador que se ilustra en la figura 35 consiste en un cuerpo que contiene los internos del desrecalentador, que se componen de un actuador que se mueve de arriba a abajo en el interior de una cavidad y colocado sobre un asiento fijo en el cuerpo de éste. Este movimiento se ve limitado por un tope situado en la parte superior de la cavidad, por lo que la posición del actuador dependerá del flujo de la línea principal del vapor.

En condiciones de ausencia de flujo, el actuador se apoya en el asiento, rodeado por un anillo de agua de refrigeración. Cuando el vapor sobrecalentado comienza a fluir a través del atemperador, el actuador es forzado a abandonar el asiento debido a la presión del vapor. A medida que aumenta el flujo, el actuador se eleva aún más, creándose así un orificio variable entre el actuador y el asiento. El aumento de la velocidad entre el actuador y el asiento provoca una caída de presión en el anillo, haciendo que el agua se introduzca en el flujo de vapor sobrecalentado.

La turbulencia asociada con el cambio de velocidad y la dirección del vapor ayuda a mezclar el refrigerante y el vapor. Los vórtices creados inmediatamente aguas arriba del actuador garantizan que el líquido refrigerante se mezcle completamente con el vapor

Contar con esta mezcla tan eficiente del líquido refrigerante y el vapor sobrecalentado en el cuerpo atemperador implica que la longitud de absorción es relativamente corta, y el sensor de temperatura puede ser instalado en torno a los 4 metros del cuerpo atemperador.

La velocidad a la cual el agua de refrigeración entra en el anillo es muy variada, y depende de una válvula de control que se regula en función de la temperatura aguas abajo.

El actuador está provisto de un émbolo con un resorte cargado, el cual incrementa la fricción entre el actuador y la cavidad, amortiguando el movimiento del actuador. Dada una caída de presión fija a través de la válvula, conseguimos de una manera eficaz poder variar la cantidad de refrigerante que se mezcla con el flujo de vapor sobrecalentado. El émbolo también proporciona estabilidad bajo condiciones de carga ligera.

Estas mismas condiciones ideales ocurren sin importar el flujo del vapor, dando como resultado una capacidad casi ilimitada del turndown de este tipo de desrecalentadores. La caída de presión a través de la unidad, que será constante, variará normalmente en un rango de 0,2 [bar].

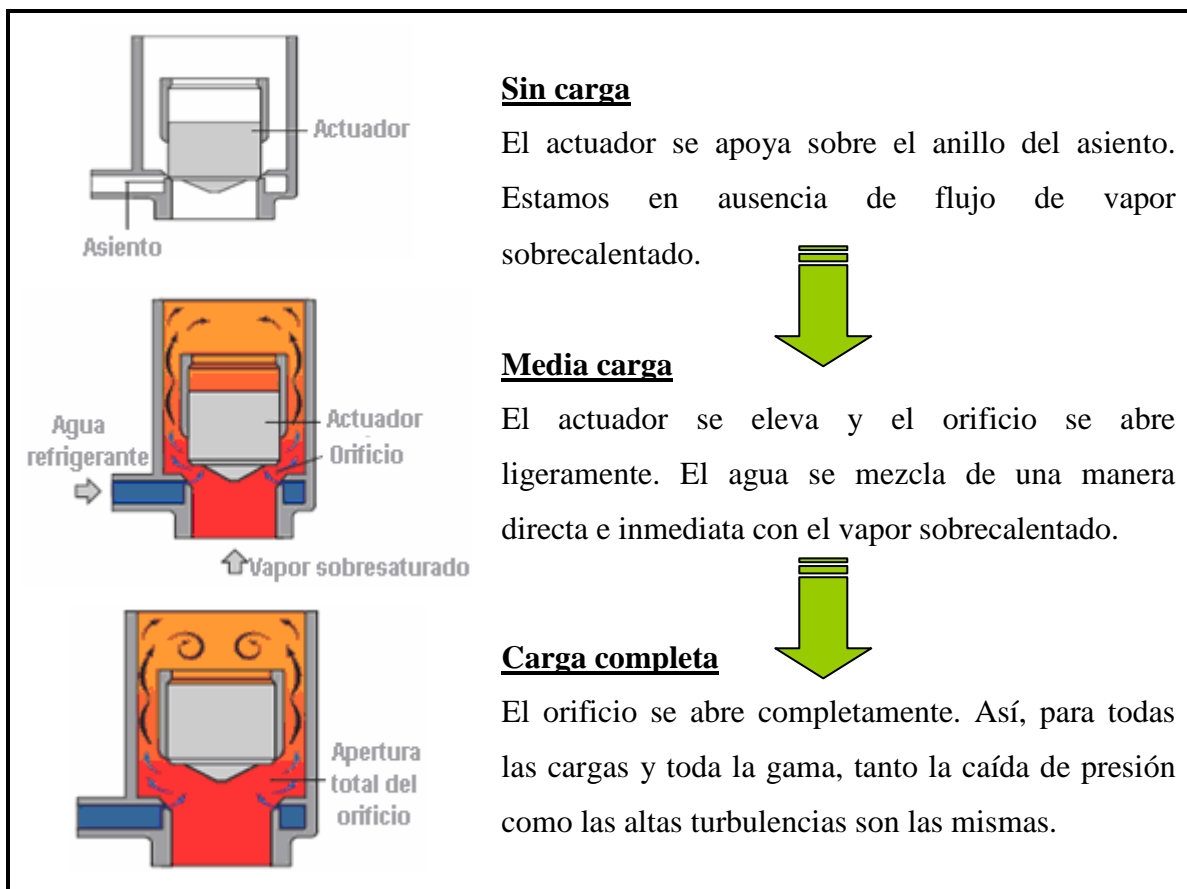


Tabla 3. Principio de funcionamiento para DSH VO

El hecho de que el refrigerante no se esparza por el atemperador, y que prácticamente todo el desrecalentamiento se produzca en el cuerpo del aparato, conlleva un menor desgaste en las tuberías asociadas e incluso en el propio atemperador. Por lo tanto, no será necesario el uso de forros térmicos. El vapor seco desrecalentado está disponible a 3-4 metros del punto de entrada del líquido refrigerador y se tiene un control de la temperatura dentro de una exactitud de 2[°C].

La figura 36 muestra un diagrama esquemático de la instalación de un desrecalentador de orificio variable, el cual ha de ser instalado en posición vertical. Su funcionamiento es tal que puede instalarse tanto a continuación como antes de tramos de tuberías con curvas, permitiendo así una instalación compacta.

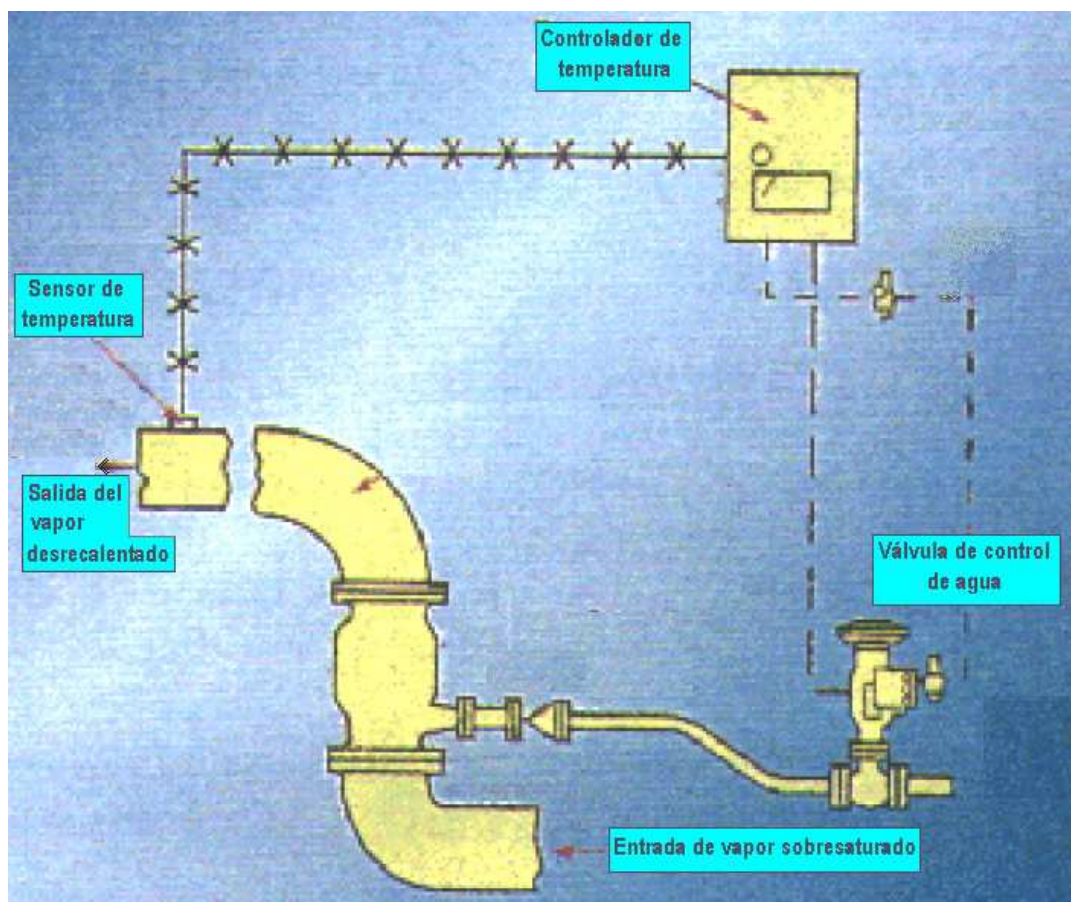


Figura 36. Principio del sistema para DSH VO

3.3 Selección del desrecalentador

Son varios los criterios a la hora de escoger el desrecalentador adecuado, si bien no debe sobreestimarse el uso de los más básicos ni infravalorar el de los más sofisticados.

Los desrecalentadores que atomizan mecánicamente requieren una caída de presión del líquido refrigerador, por lo tanto requieren una presión del líquido refrigerador superior a la del vapor. La exactitud del control es típicamente de $\pm 8[^\circ\text{C}]$ para los inyectores fijos y de $\pm 5[^\circ\text{C}]$ para los inyectores variables o múltiples. Estas amplias franjas limitan cómo de cerca se puede poner el punto de ajuste requerido a la

temperatura de la saturación del vapor. Los valores típicos serán de +10°C y +8°C respectivamente.

Además, los desrecalentadores que atomizan mecánicamente requieren distancias razonables al sensor de la temperatura, que serán de 12 o 7.6 metros respectivamente, de los cuales un 50-60% debería ser tubería recta, para reducir al mínimo el riesgo de choque del líquido refrigerador con la pared de la tubería, ya que el líquido pasa a través de una curva.

Los desrecalentadores que usan vapor atomizado requieren sólo de una presión en el vapor ligeramente superior a la del líquido y se controlará dentro de $\pm 5[^\circ\text{C}]$ del punto de ajuste requerido, que puede ser fijado consecuentemente en $8[^\circ\text{C}]$ sobre el punto de saturación del vapor.

Los desrecalentadores que utilizan el principio 2 tienden a ser los más eficaces: tipo venturi y de orificio variable. Ambos desrecalentadores alcanzan una exactitud de control de $\pm 2[^\circ\text{C}]$ en toda su gama trabajando con un turndown de 15:1 y 100:1 respectivamente. Esto permite que el punto de ajuste sea de $5[^\circ\text{C}]$ sobre el punto de saturación del vapor.

A continuación se muestra una tabla resumen con las características de cada una.



3.3 Selección del desrecalentador

		MA	SAMN	MNSD	SA-35	VAD	VO
Turndown máximo		1,5:1 (en el flujo del agua)	9:1 (en el flujo del agua)	Hasta 75:1	25:1 (en el flujo del vapor)	15:1 (en el flujo del agua)	Hasta 100:1
Tipo de atomización		Mecánica	Mecánica	Mecánica	Vapor	Por velocidad	Por velocidad
Temperatura de salida mínima		Sat. + 10°C	Sat. + 8°C	Sat + 8°C	Sat. + 8°C	Sat. + 5°C	Sat. + 5°C
Precisión en el control de la temperatura		± 8°C	± 5°C	± 5°C	± 5°C	± 2°C	± 2°C
Orientación montaje		Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Vertical
Clase de Presión ANSI		150-1500	150-2500	150-2500	150-2500	150-600	150-900
Tamaño tubería vapor principal	Mín.	6"	6"	3"	4"	1"	3"
	Máx.	24"	24"	24"	24"	16"	Sin limitaciones
Conexiones finales estándar	Agua	Con bridas o De enchufe y soldadura	Con bridas	De enchufe y soldadura	Con bridas o De enchufe y soldadura	Con bridas o De enchufe y soldadura	Con bridas
	Vapor	Con bridas	Con bridas	Con bridas	Con bridas	Con bridas o De enchufe y soldadura	Con bridas
Límites de velocidad	@máx Caudal	250 m/s	250 m/s	250 m/s	250 m/s	1/3 V _{sónica}	155 m/s
	@mín Caudal	9 m/s	8-9 m/s	25 m/s	10 m/s	4-5 m/s	3 m/s
Caída de presión	@máx Caudal	Insignifican	Insignifican	Insignifican	Insignifican	0,15 bar	Depende de la aplicación
	@mín caudal	Insignifican	Insignifican	Insignifican	Insignifican	0,15 bar	0,2 – 0,34 bar
Presión de agua requerida Presión línea de vapor +		2,8-11,0 bar	4-15 bar	4-200 bar	0,7-2,7 bar	0,5-1,9 bar	0,3-7,0 bar
Mínima distancia de tubería recta hasta válvula/codo	Aguas arriba	5xD _{tubería} (no menos de 1,2 m)	5xD _{tubería} (no menos de 1,2 m)	3xD _{tubería} (no menos de 0,9 m)	3xD _{tubería} (no menos de 1,2 m)	6xD _{tubería} (no menos de 0,3 m)	Debe ser instalado un codo de gran radio a la entrada y salida
	Aguas abajo	70% de DTS	70% de DTS	70% de DTS	80% de DTS	50% de DTS	
Distancia al sensor de temperatura (DTS)		9-15 m	5-9 m	5-9 m	7,5-12 m	6-10 m	3,5-6,0 m
Componentes del sistema		MA DSH, Válvula del agua y Controlador de temperatura	SAMN DSH, Válvula del agua y Controlador de temperatura	MNSD DSH, Válvula de bloqueo y Controlador de temperatura	VA-35 DSH, Válvula del agua y Controlador de Temperatura	VAD DSH, Válvula del agua y Controlador de temperatura	VO DSH, Válvula del agua y Controlador de temperatura

Tabla 4. Tipos de atemperadores y sus características

3.4 Funcionamiento general del desrecalentador

Según lo mencionado arriba, el desrecalentador es una porción del sistema del control de la temperatura y el funcionamiento total del sistema es función de todos los componentes que forman el sistema. En un lazo de control simple, el indicador del control de la temperatura será el conjunto que formen una válvula de control del agua que se refresca y el desrecalentador, y cualquier evaluación del sistema total también considerará la velocidad en la tubería del vapor principal.

En un sistema más complejo, se tomaría un lazo de control en cascada para abarcar el uso de dos sensores de temperatura; uno que mide la temperatura aguas arriba y otro que lo haría aguas abajo. La temperatura de la corriente aguas abajo sería el elemento final de control y por medio de un controlador de temperatura se conectaría en cascada el punto de ajuste deseado a un segundo controlador de temperatura que estaría recibiendo la señal de salida del transmisor aguas arriba de la temperatura de la corriente.

Con un lazo simple de control de la temperatura, el controlador de temperatura mide la temperatura en sentido descendiente y la compara con el punto de ajuste deseado, que se fija manualmente. El sensor genera una señal correctiva que se envía a la válvula de control del agua para ajustar la abertura de la válvula y por lo tanto la cantidad de agua para enfriar el vapor dependiendo de la variación en la temperatura aguas abajo del punto de ajuste requerido.

En el caso del sistema complejo, el punto de ajuste deseado sería generado en el regulador principal que utiliza un control de cascada. Cualquier cambio en la temperatura aguas arriba al desrecalentador será detectado por el sensor aguas arriba, el cual enviará la señal al regulador principal, que lo comparará con el punto de ajuste deseado y enviará la señal correctiva a la válvula de control del agua que refresca.

El regulador de temperatura aguas abajo supervisará la temperatura de la corriente aguas abajo y si ésta se desvía del punto de ajuste deseado, enviará una señal correctiva al regulador principal, que ajustará su salida según las demandas. Este tipo de control es particularmente útil en la atemperación en etapas donde muchos factores influyen la cantidad requerida de agua que refresca.

Un punto importante es el hecho de que no sólo varía el flujo del vapor, sino además, la presión y la temperatura del vapor entrante puede fluctuar al igual que la presión del agua que refresca. Por esta razón, es importante que todos estos factores sean considerados a la hora de seleccionar el equipo para componer una estación de desrecalentamiento. Si se selecciona un regulador de temperatura inferior, entonces el tiempo de reacción y la exactitud del control tendrán un gran impacto en la respuesta del sistema total. La válvula de control del agua que refrigera debe tener el rango de uso más ancho posible, ya que no sólo tiene que ocuparse de los cambios en caudal, sino que también tiene que ser capaz de ajustar el flujo del agua refrigerante para compensar cambios en la presión y en la temperatura del vapor de entrada y para las variaciones en la presión de agua refrigerante.

Debido a la interacción de todos los componentes arriba mencionados, se suele permitir que el vendedor sea el responsable de todos ellos, de manera que tengamos clara la identidad del responsable ante cualquier problema posterior.

Capítulo 4

Necesidades y bases de diseño

4.1 Introducción

Los procesos de desrecalentamiento se aplican cuando la fase del vapor de un líquido es demasiado caliente para ser utilizada para el propósito. Un desrecalentador sin contacto directo es un intercambiador de calor donde los líquidos no se mezclan. En un desrecalentador de contacto directo, el vapor caliente es enfriado hasta la temperatura final deseada agregando un fluido con menor temperatura, generalmente un líquido, permitiendo traspaso térmico entre los fluidos y, eventual, la igualación de temperaturas. Hay dos tipos genéricos de desrecalentadores de contacto directo: el tipo de aerosol mecánico, donde el líquido es inyectado por un diferencial de presión a través de un inyector en el vapor, y el tipo que atomiza por velocidad donde el líquido se facilita al desrecalentador a una presión cercana a la del vapor caliente y la velocidad del vapor

principal es la que empuja y absorbe el líquido refrigerante en el flujo principal del vapor. Cada tipo tiene sus ventajas, y hay muchas clases de desrecalentadores dentro de cada tipo, como hemos visto. Sin embargo, un precio más elevado suele ser un buen indicador del perfeccionamiento del funcionamiento del aparato.

Los desrecalentadores se pueden aplicar a muchos vapores y líquidos que se utilizan en procesos industriales; en esta sección, sin embargo, nos referiremos solamente a mezclas del vapor sobrecalentado con agua en un tipo desrecalentador de contacto.

Debido a la multitud de variables que pueden afectar al resultado final, es difícil definir “reglas específicas” para el diseño acertado de un desrecalentador. Cierta sistema de condiciones en un uso puede ser aceptable, mientras que para otro de características similares no lo sería en absoluto debido a un sutil cambio en una de las variables. Obviamente, estas variables se relacionan entre sí de una forma física, y deben poder ser definidas.

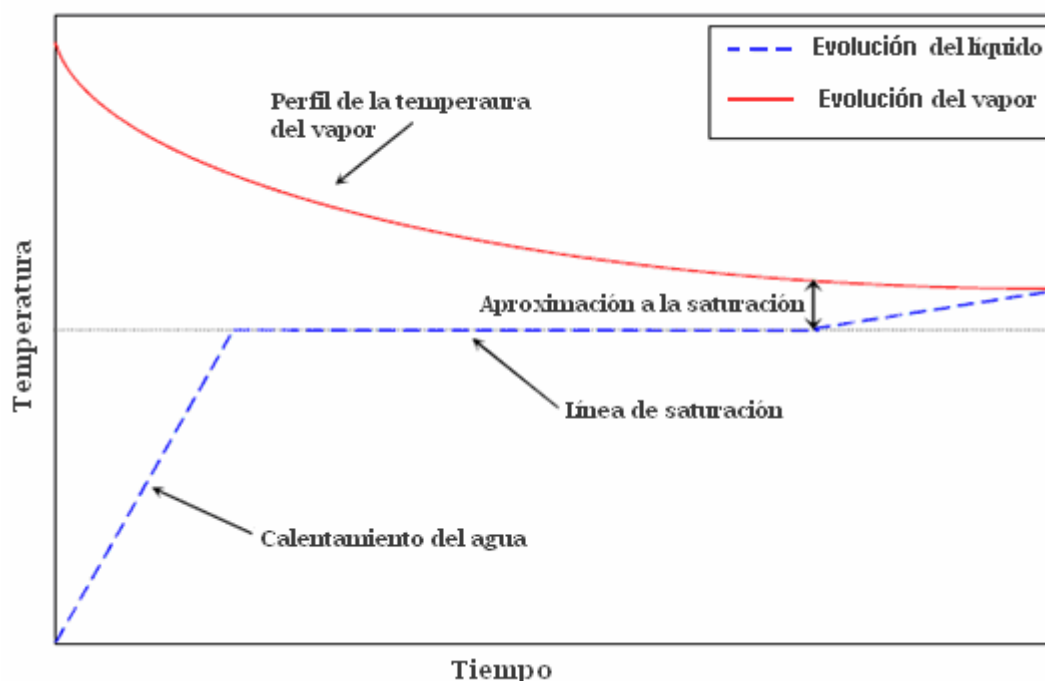


Figura 37. Evolución de las líneas del agua y del vapor en el proceso de desrecalentamiento

Las técnicas modernas, tales como el CFD (“Computational Fluid Dynamics “), se están utilizando hoy en día para entender y predecir con menor error la complejidad termodinámica del proceso de desrecalentamiento. Históricamente, el éxito de una instalación de desrecalentamiento específica se había basado en la respuesta de un elemento de detección de temperatura que se coloca aguas abajo del desrecalentador y que se encuentra aproximadamente en la línea central de la tubería del vapor. La esperanza es que, para el momento en que el vapor y el agua hayan alcanzado el sensor de temperatura, el agua se haya evaporado (mientras que el vapor está perdiendo su calor), y los dos hayan igualado su temperatura para dar lugar a una distribución constante, no estratificada de la temperatura en el sensor (véase la figura 37); lo cual es mucho en una distancia tan corta.

¿Cuáles son las variables que afectan el proceso de desrecalentamiento? Tendremos:

- Temperatura
- Presión
- Velocidad
- Flujo
- Geometría
- Calidad del agua
- Líneas termales.
- Distancia al sensor de temperatura.

4.2 Bases de diseño

4.2.1 Temperatura y Presión.

La temperatura y la presión del vapor y del agua son variables importantes a considerar. El primer control que se realiza es conocer la cantidad de vapor sobrecalentado tanto aguas arriba como aguas abajo del desrecalentador. El

desrecalentador clásico no se utiliza para disminuir la presión, por lo que la temperatura es la constante física que cambia. Sin embargo, la cantidad de vapor sobrecalentado es tan importante como la variación de temperatura. La disminución del sobrecalentamiento del vapor aguas arriba al vapor deseado aguas abajo es la cantidad de cambio de calor (o la entalpía) que se debe dar al líquido refrigerador. Grandes cambios en el vapor sobrecalentado requerirán incrementos porcentuales del agua a agregar. La adición del agua será tratada después, pero advertiremos que, la adición de una gran cantidad de agua no es en sí misma perjudicial para los procesos de desrecalentamiento.

El vapor sobrecalentado final a obtener es lo que realmente nos preocupa. Los niveles finales de vapor sobrecalentado que estén cerca de la temperatura de saturación requieren una atención especial. Como el desrecalentamiento es un proceso termodinámico, la diferencia de temperatura entre las moléculas controlará cómo de rápido se transfiere el calor al sistema. En una aplicación donde la temperatura final del vapor está próxima a la de saturación, la transferencia de calor disminuye puesto que la temperatura del líquido refrigerador está probablemente ya a la temperatura de saturación o por encima de ella. Consecuentemente, el tiempo que se requiere para alcanzar la temperatura de equilibrio aumentará debido a la reducción de la transferencia térmica. Esto tiene un impacto directo en la distancia que habrá al elemento de detección de temperatura.

a) Temperatura sola

La otra consecuencia es que los elementos de detección de temperatura no pueden funcionar cerca de la temperatura de saturación. Los sensores de temperatura requieren de un diferencial de temperatura para reconocer si la temperatura del sistema está siendo alcanzada. Si la temperatura del sistema fuera la temperatura de saturación, podría haber una diferencia enorme entre los valores de la entalpía (de vapor húmedo saturado a seco), que el sensor de temperatura no reconocería y que no serían aceptables para el vapor usado. Por lo tanto, los puntos de ajuste en los controladores de temperatura operarán normalmente en un rango mínimo de 5[°C] sobre la de saturación, dependiendo de otros factores.

b) Presión sola

La presión por sí sola es una variable muy importante a tener en cuenta. La presión de abastecimiento de agua disponible es, en muchos casos, el factor que dicta el modelo exacto del desrecalentador que puede ser utilizado.

La diferencia de presión del agua es también importante en la determinación del tipo y de la calidad del patrón de spray en el tipo de desrecalentadores mecánicos. El tamaño de la gotita de agua aumenta generalmente cuando disminuye la diferencia de presión a través de un inyector (véase la figura 38). El tamaño de una gotita en el aerosol crece rápidamente en menos de 3,5 ó 4 [bar] de diferencia de presión. Por esta razón, la mayoría de los desrecalentadores mecánicos con aerosoles no se utilizan en diferencias de menos de 3,5 bar a menos que se usen otros medios para controlar el tamaño de la gotita.

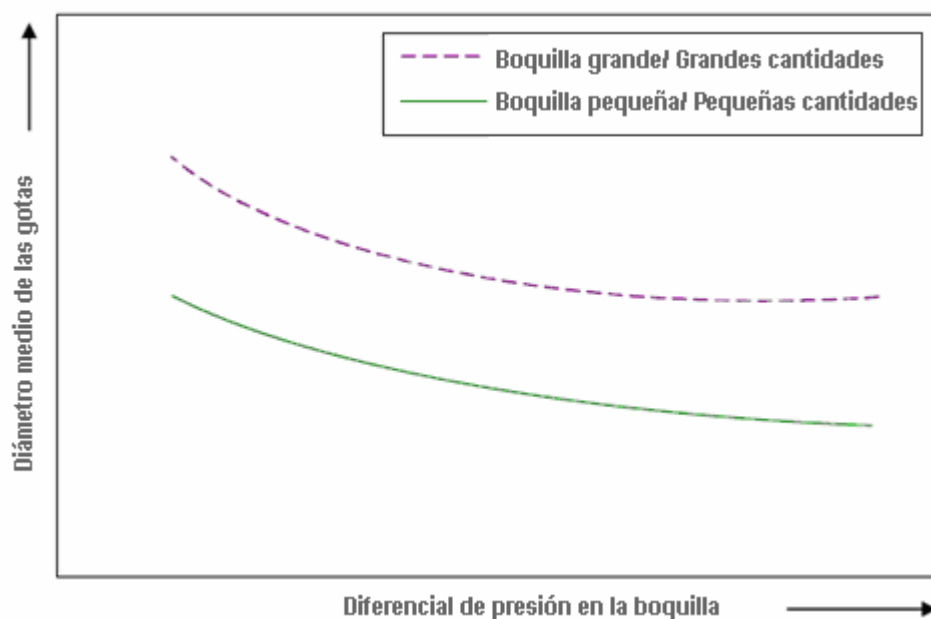


Figura 38. Relación entre el tamaño de las gotas y la caída de presión a través del orificio

Los desrecalentadores que atomizan por velocidad no tienen esta restricción de la presión del agua porque funcionan a la mínima presión diferencial del agua del desrecalentador y confían en el efecto de la velocidad del vapor para arrojar el agua en el vapor. La velocidad provoca un efecto atomizante en el vapor que absorbe una fina capa

de líquido refrigerante y la rompe rápidamente en pequeñas gotas; éste es el factor limitante de estos desrecalentadores.

4.2.2 Velocidad

La velocidad del flujo de vapor principal es una variable importante en el proceso de desrecalentamiento porque la velocidad da lugar a turbulencias, que revuelven el líquido refrigerador, incrementando el traspaso térmico y por lo tanto la evaporación. La velocidad también proporciona flotabilidad a las gotitas de agua y las mantiene en suspensión. La velocidad mínima del vapor varía con las condiciones y el tipo de uso del desrecalentador, pero el mínimo suele estar entre 6 y 9 metros por segundo para la mayoría de las aplicaciones.

Quizás el obstáculo más grande para un buen desrecalentamiento es la escasa flotabilidad, permitiendo que el agua fría alcance las paredes de la tubería principal. El agua en la pared de la tubería tiene un traspaso térmico pobre debido a que el área superficial expuesta al vapor es pequeña. Y debido a que la velocidad del vapor en la pared de la tubería es baja, hay poca acción de mezcla. El agua será empujada aguas abajo y eventualmente se evaporará o fluirá bajo el sensor de temperatura y se incorporará al proceso.

Se debe tener especial cuidado durante la selección del desrecalentador si nos preocupa las consecuencias que el agua fría podría tener en las paredes de la tubería principal. Los desrecalentadores que atomizan por velocidad tienden a mantener el agua cerca del centro de la tubería principal. Hay mejoras en las instalaciones que se pueden llevar a cabo para preveer esta situación. Se mantendrá la velocidad mínima recomendada del vapor con el uso de secciones más pequeñas, de trazados tipo venturi y se usarán también trampas de agua flujo abajo para eliminar el exceso de líquido. Es también importante utilizar un dispositivo de comprobación para medir la temperatura aguas abajo para verificar la información del sensor de temperatura que controla el proceso.

4.2.3 Masa

Según lo indicado anteriormente, la cantidad de agua agregada a un desrecalentador no es necesariamente de máxima preocupación; sin embargo, el mecanismo para proveer el agua sí nos debe preocupar. Para una presión dada del abastecimiento de agua, el tamaño medio de la gotita que atraviesa el aerosol aumentará con el incremento en el tamaño y volumen de sus orificios (véase la figura 38). Por lo tanto, índices de corriente totales más grandes en agua concluirán en un tamaño medio más grande de la gotita. Obviamente, el tamaño de la gotita tiene un impacto directo en el tiempo de evaporación del líquido refrigerador, pero además habrá que asegurarse de que las gotitas no sean tan grandes como para no verse afectadas por el flujo del vapor y creen su propio camino en la pared de la tubería principal.

Una simple analogía es la de una manguera del jardín. Si el inyector se fija muy cerrado para producir un riego fino, se verá que las gotitas son pequeñas, que la cantidad de flujo es pequeño y que los vientos de costado de menor importancia desviarán el patrón de esparcimiento y proporcionarán flotabilidad al riego. Si se fija la boquilla para producir una pulverización gruesa, entonces las gotitas serán grandes y la cantidad de flujo también será grande y los vientos de costado se verán afectados significativamente (véase la figura 38). Por tanto, se preferirá un patrón fino de aerosol para desrecalentamiento. Pero será la masa de agua la que determine el mecanismo real de la entrada. Por esta razón, el uso de muchos y pequeños inyectores puede dar lugar a un desrecalentamiento mejor que aquella que utilice menos inyectores y de mayor tamaño para el mismo volumen total de agua.

4.2.4 Geometría

La geometría de las tuberías es importante para cada tipo de desrecalentamiento. La distancia al sensor de temperatura debe ser lo más recta posible. El primer codo se debe situar con una distancia nunca superior a la recomendada por el fabricante. Si el agua aún en forma de gotitas se mantiene en la línea del

vapor al llegar al primer codo, el agua caerá de la suspensión, debido a la fuerza centrífuga, y se adherirá a la pared de la tubería. Además, podremos encontrarnos ante un problema en la tubería por la posible erosión de la tubería en la zona del codo.

Además deberemos tener en cuenta otras dos recomendaciones en cuanto a las tuberías. Primero, no debe haber ninguna ramificación de la línea del vapor antes del sensor de temperatura. Si la línea del vapor contiene agua no-evaporada, la corriente llevará esas gotas de agua más allá del punto de entronque; por lo que el vapor de la línea ramificada estará más caliente que el vapor desrecalentado que pasará a través del sensor de temperatura. En segundo lugar, se recomienda por lo general también una cierta longitud recta de la tubería aguas arriba del desrecalentador. El uso de un giro en ángulo recto en la camisa de la tubería debería evitarse, incluso con una tubería recta aguas arriba. Los patrones erráticos del flujo fijados antes de una T no suelen conducir a la adición simétrica del agua.

4.2.5 Calidad de agua

Muchos desrecalentadores cuentan con pequeños pasos previos para producir las características que el agua necesitará para el correcto funcionamiento. Los sólidos suspendidos pueden ser un problema si se acumulan en la trayectoria del flujo. La necesidad de un elemento filtrante aguas arriba se deberá discutir con el fabricante. Además, la evaporación del agua puede dar lugar a sólidos disueltos, cayendo de la solución y pudiendo crear restricciones en el flujo. Por estas razones el agua de refrigeración ideal es agua condensada o desaireada con solamente algunas partes por millón de sólidos disueltos.

4.2.6 Camisas térmicas

Las camisas o fundas térmicas mejoran el funcionamiento del desrecalentador salvaguardando la pared de la tubería principal del refrigerante todavía líquido. Las fundas térmicas se usan habitualmente como protección contra el agrietamiento de la

tubería de vapor por fatiga térmica cuando hay una diferencia significativa entre la temperatura de entrada del vapor y la del agua.

Una funda térmica es a grandes rasgos un tubo dentro de la tubería principal que posee un diámetro menor y un “schedule” menor. Esta tubería interior se une a la principal mediante una serie de separadores que permiten que parte del vapor fluya en el espacio que queda entre este revestimiento térmico y la principal. La parte del agua que aún no se encuentra en suspensión cae ahora dentro del diámetro de la funda térmica, por tanto en las zonas más centrales de la tubería principal. Esta agua es calentada por conducción a través de la pared de la funda térmica proveniente del vapor principal y de la corona de revestimiento térmico. Cuando el agua alcanza el extremo de la funda, debe de realizar un puente entre la corona de la misma y la pared de la tubería principal. El vapor saliente de la corona tenderá a interrumpir esta acción; no obstante puede ayudar a mantener el agua en suspensión. En consecuencia, existirán aplicaciones en las que el uso de un forro térmico deberá considerarse para mejorar el rendimiento.

4.2.7 Distancia al sensor de temperatura

Los suministradores de desrecalentadores proporcionan una distancia recomendada al sensor de temperatura. Esta distancia se debe considerar como distancia mínima, la cual se puede sobrepasar. La única pega de tener el sensor demasiado lejos aguas abajo es el incremento en el tiempo de reacción. Generalmente, la velocidad del flujo principal es tan alto que la distancia al sensor de temperatura no es un factor predominante. Sin embargo el tiempo de reacción puede ser importante en los sistemas donde las condiciones varían rápidamente.

4.2.8 Control de la temperatura

Anteriormente se discutió el control de la temperatura aguas abajo del desrecalentador a través de un sistema de control. Hay algunas aplicaciones en las que el sensor de temperatura no se utiliza. Suelen ser aplicaciones de volcado a un condensador

donde el usuario final está más preocupado por la entalpía del líquido que entra al condensador que de la temperatura real. La entalpía puede controlarse utilizando o bien el sistema principal de control de la planta (DCS, “Distributed Control System”) o un controlador independiente específico para la aplicación. El algoritmo a emplear para determinar la cantidad de agua necesaria para modificar la entalpía utiliza como variables la presión aguas arriba, la temperatura, el flujo de vapor y la entalpía aguas abajo deseada (ver figura 39)..

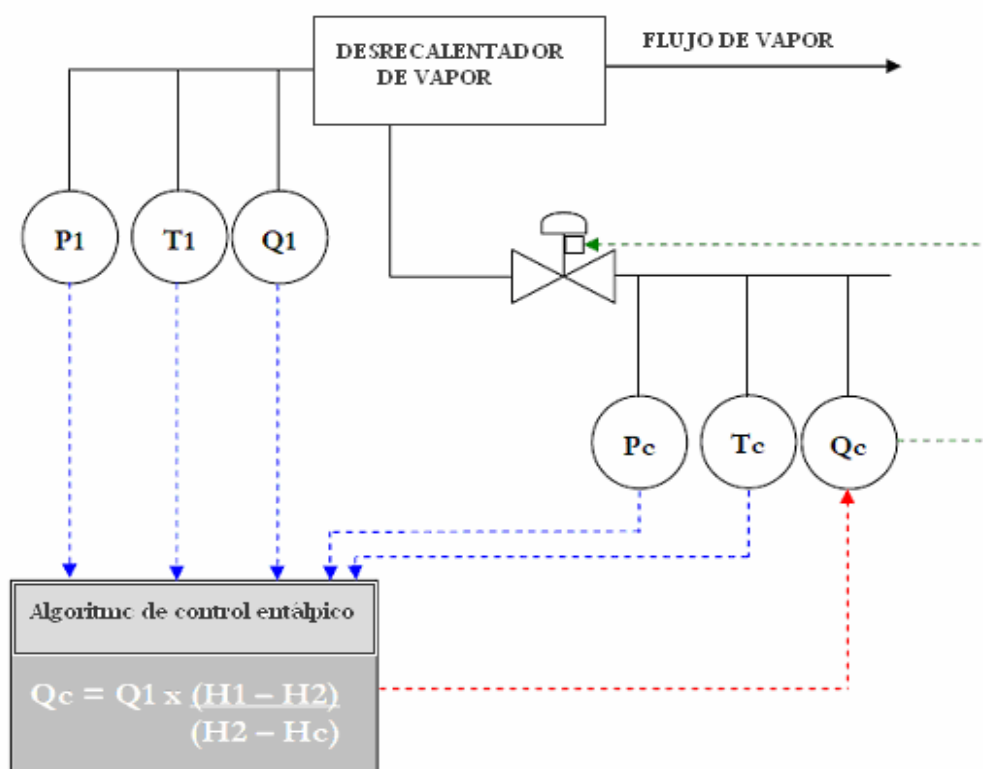


Figura 39. Balance energético del sistema

La presión aguas arriba y la temperatura proporcionan la entalpía aguas arriba de una tabla ya prefijada. Se podría utilizar un medidor de flujo para proporcionar el caudal de vapor. La mayor parte de estas aplicaciones tienen una válvula de reducción de presión aguas arriba, así la posición del vástago de la válvula de reducción de presión (PRV, “Pressure Reducing Valve”) calcula el flujo del vapor, midiendo también la presión y la temperatura del vapor. La cantidad de agua para refrigerar requerida se convierte en

una posición del vástago de la válvula de control del spray que suministra el agua al desrecalentador. Por lo general habrá un medidor de flujo de agua extra separado de la línea de suministro de agua para comprobar que la cantidad solicitada de la misma está siendo, en efecto, suministrada. Este enfoque dará como resultado la cantidad correcta de agua que se agrega para la obtención de la entalpía final deseada. Sin embargo, como previamente se discutió, hay otra serie de restricciones que deben ser tenidas en cuenta si se requiere una mezcla completa y no estratificada.

En la figura 40 se representan las condiciones de entrada del agua y del vapor. Como se puede observar, el flujo de agua refrigerante es proporcional al flujo de vapor y se puede hallar fácilmente a través del análisis del volumen de control, tomándolo en el caso estacionario:

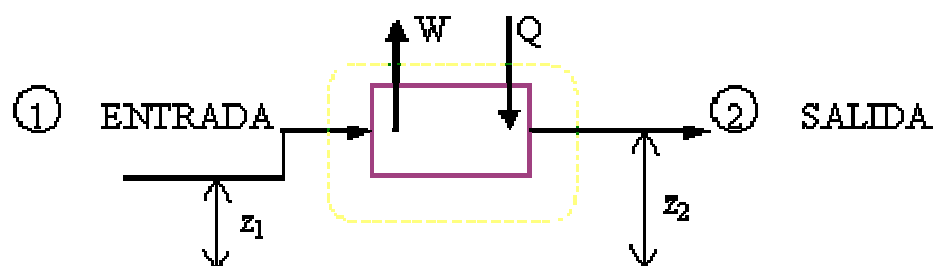


Figura 40. Proceso general del estado estacionario

Balance de masa:

$$\sum_e \dot{m}_e = \sum_s \dot{m}_s$$

(Flujo másico entrante) (Flujo másico saliente)

Balance de energía:

$$\dot{Q}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{C_e^2}{2} + gz_e \right) = \dot{W}_{vc} + \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{C_s^2}{2} + gz_s \right)$$

(Flujo de energía entrante) (Flujo de energía saliente)

Despreciando los valores de energía cinética y energía potencial, considerando que no existe transferencia de calor con el exterior y que el trabajo en el volumen de control es nulo, obtenemos la siguiente simplificación:

$$\sum_e \dot{m}_e h_e = \sum_s \dot{m}_s h_s$$

En nuestro caso, las variables que tenemos son:

P_1 = presión de entrada

T_1 = temperatura de entrada

Q_1 = flujo de entrada

H_1 = entalpía de entrada

P_c = presión de refrigerante

T_c = temperatura del refrigerante

Q_c = cantidad de refrigerante

H_c = entalpía de entrada

P_2 = presión de salida

T_2 = temperatura de salida

Q_2 = flujo de salida

H_2 = entalpía de entrada

Por tanto nuestro balance de energía será:

$$Q_1 \cdot H_1 = Q_c \cdot H_c + Q_2 \cdot H_2$$

Procedimiento de cálculo

La entalpía de entrada (H_1) se puede calcular a partir de P_1 y T_1 de las tablas de las propiedades del agua sobrecalentada.

La entalpía de salida deseada (H_2) es un ajuste preestablecido. Si la presión del sistema está sujeta a las variaciones de la presión de entrada P_1 también puede utilizarse para determinar la entalpía de saturación. A partir de la temperatura de saturación y el ajuste que el tipo de desrecalentador nos permita, podremos calcular la entalpía del vapor sobrecalentado de salida

$$P_2 = P_1 + \Delta P \longrightarrow T_{\text{saturación},2} + \Delta T = T_2 \longrightarrow H_2$$

El flujo de entrada se mide con un contador de flujo de masa (o puede ser determinada por la posición del vástago de la válvula de reducción de presión aguas arriba).

La presión del refrigerante y la temperatura pueden ser medidas o ajustadas a través del algoritmo anterior realizando cambios en la presión/temperatura que da como resultado pequeños cambios en la entalpía.

Con el proceso anterior obtenemos la información necesaria para realizar un balance de energía con el que determinaremos el flujo de agua que necesitaremos en unas condiciones concretas:

$$Q_c = Q_1 \cdot \frac{(H_1 - H_2)}{(H_2 - H_c)}$$

El flujo resultante se utilizará como un punto de ajuste remoto para el flujo situado en la línea de suministro de refrigerante. Desde el controlador de proceso de la válvula de control de agua se puede regular esta misma, abriéndola (para suministrar refrigerante adicional) o cerrándola (para reducir el flujo de refrigerante).

Debido a la inexactitud de todo el proceso, podemos minimizar el error que se producirá multiplicando el algoritmo anterior por una factor de 0,01 a 0,005 (1 % a 5 %). Este ajuste se realizará durante el proceso de configuración del sistema y su puesta en marcha.

4.3 Requerimientos de la planta

Las necesidades en planta vienen especificadas en el esquema de la figura 41, donde aparecen reflejadas las líneas de entrada de vapor, de entrada de refrigerante y de salida de vapor desrecalentado, así como las distancias mínimas de tubería recta de las cuales disponemos. Aparecen reflejados los aparatos de que dispondremos según una nomenclatura previamente acordada para todo el proyecto.

- TV-027: Válvula de control del líquido refrigerante
- 36-DS-001 A: Desrecalentador 1A de la unidad 36
- TT: sensor de temperatura

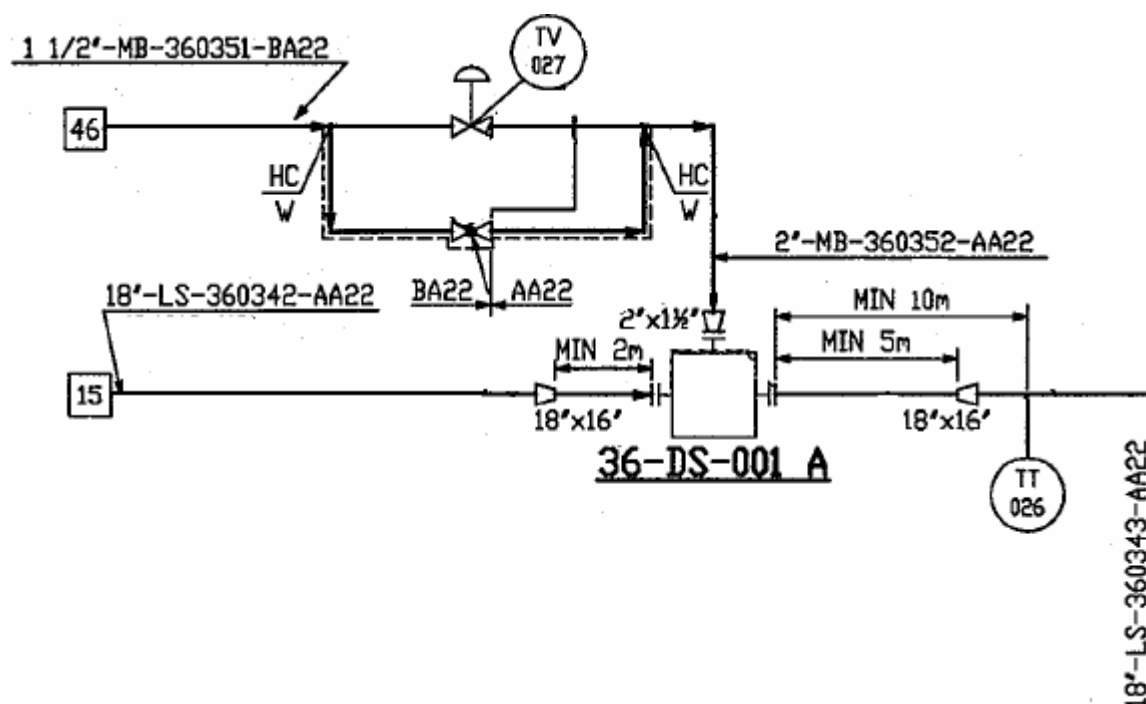


Figura 41. Esquema diagrama de la unidad

A continuación (tabla 5), aparece la hoja de datos con todas las variables de nuestro proceso, y las especificaciones que deberemos tener en cuenta para conseguir nuestro objetivo.

HOJA DE DATOS PARA EL DESRECALENTADOR DE VAPOR 36-DS-001 A		
Servicio: Desrecalentador de vapor de baja presión		
Tipo: Mezclador en línea		
Número de equipos requeridos: 1, de operación continua		
CONDICIONES DE OPERACIÓN		
Fluidos de entrada	Vapor de baja presión (LP Steam)	Agua de alimentación de calderas de media presión (MP BFW)
Flujo [kg/h]	25185/25187/24466/23649	
Temperatura [°C]	170/190/240/240	115
Presión de entrada [bar]	4,44/5,42/6,4/4,44	21 (1)(2)
Caída de presión máxima admisible [bar]	0,3	
Temperatura de diseño [°C]	270	135
Presión de diseño [bar]	7.3 / F.V	26 (1)(2)
Fluidos de salida		
Temperatura [°C]	152/152/160/165	
CONDICIONES DE DISEÑO		
Temperatura [°C]	270	
Presión [bar]	7.3 / F.V	
MATERIALES	Acero al carbón(CS, "Carbon Steel") + 1.5 [mm] C.A.(corrosión permitida)	
Conexiones		
Vapor de entrada	18"	
Agua de entrada	1 ½"	
Vapor de salida	18"	
NOTAS		
1. Aguas arriba de la válvula de control		
2. Una válvula de seguridad de presión(PSV, "Pressure security valve") @ 7.3[Kg/cm ²] deberá ser instalada después de la válvula de control del refrigerante como protección de los equipos aguas abajo		
3. Deberá ser operativo para un 40% del flujo mínimo		
4. Se deberá señalar la máxima aproximación admisible a la temperatura de saturación		

Tabla 5. Hoja con los datos necesarios para el proceso

Para determinar el tipo de equipo a seleccionar, se requiere que además de las necesidades de planta dispongamos de información complementaria. A continuación se enumera todo lo necesario para resolver de manera eficiente el caso:

4.3.1 Vapor a ser desrecalentado

a) Composición química y características termodinámicas del fluido: en nuestro caso el fluido de proceso es agua sobrecalentada, y sus características termodinámicas se encuentran en las tablas adjuntas en el Anexo A.

b) Caudal máximo y mínimo: al necesitar un turndown mínimo del 40% añadiremos una quinta condición, la de flujo mínimo.

$$\text{Turndown} = \frac{\text{Flujo}_{\text{máximo}}}{\text{Flujo}_{\text{mínimo}}} = \frac{25185[\text{kg/h}]}{10074[\text{kg/h}]} = 2,5 = 40\%$$

Debido al turndown exigido los desrecalentadores tipo MA no cumplen con este requisito por lo que deben ser descartados.

$$\text{Turndown máximo MA} = 1,5:1 < 2,5:1$$

c) Temperatura y presión a la entrada del desrecalentador

Casos	Presión _{entrada} [bar]	T _{entrada} [°C]
1	4,44	170
2	5,42	190
3	6,4	240
4	4,44	240
5	4,44	170

Tabla 6. Condiciones de temperatura y presión a la entrada del DSH

d) Velocidad máxima y mínima de entrada.

e) Temperatura deseada a la salida del desrecalentador (indicando el margen deseado sobre la temperatura de saturación a la salida). En nuestro diseño se permite un error máximo en la temperatura del vapor sobresaturado de salida de 5,5[°C] por encima de la temperatura de saturación.

f) Caída de presión máxima permitida a través del desrecalentador: $\Delta P_{\text{máx}}=0,3$ [bar]

Analizaremos las posibilidades de cada uno de los tipos que nos quedan en función de la temperatura deseada de salida:

SA-35 SAMN MNSD	Presión _{salida} [bar]	T _{saturación} salida[°C]	T _{salida} deseada[°C]	T _{salida real} mín [°C]	Margen de error[°C]
1	4,44	147,41	152	155,41	3,41
2	5,42	154,89	160	162,89	2,89
3	6,4	161,37	165	169,37	4,39
4	4,44	147,41	152	155,41	3,41
5	4,44	147,41	152	155,41	3,41

Tabla 7. Comparativa DSH tipos SA-35, SAMN y MNSD

Como se puede observar tanto el tipo SA-35, SAMN como MNSD comparten sus requerimientos en cuanto a temperatura se refiere. Los tres superan el error máximo permitido en cuanto a temperatura de salida, por lo que deberán ser excluidos.

VAD VO	Presión _{salida} aprox [bar]	T _{saturación} salida[°C]	T _{salida} deseada[°C]	T _{salida} [°C]	Margen de error[°C]
1	4,59	148,64	152	153,64	1,64
2	5,57	155,94	160	160,94	0,94
3	6,55	162,29	165	167,29	2,29
4	4,59	148,64	152	153,64	1,64
5	4,59	148,64	152	153,64	1,64

Tabla 8. Comparativa DSH tipos VAD y VO

Tanto el modelo VAD como el modelo VO siguen siendo válidos para nuestro diseño ya que cumplen con el requisito de la temperatura de salida.

4.3.2 Líquido refrigerador y vapor atomizado

a) Disponibilidad: no se dispone de ninguna línea de vapor atomizado, por lo que contaremos con una línea de agua BFW de 1 ½" de acero al carbono (ASTM A106 Gr.B), por lo que el desrecalentador del tipo vapor atomizado SA-35 definitivamente NO es apto para nuestro proceso.

b) Temperatura y presión: 115[°C] y 21[bar]

4.3.3 Tuberías

4.3.3.1 Material

Respecto al material utilizado tanto para las tuberías del vapor principal como para las tuberías del agua refrigerante a partir de la válvula del agua, es importante destacar que sus características vienen regidas según el código de diseño ASME B31.3, y según las especificaciones ASTM.

ESPECIFICACIÓN TUBERÍA PARA LP STEAM/ MP BFW --- AA22			
Material	Acero al Carbono(CS)		
Rating	150#		
Espesor adicional de corrosión (CA)	1,5 mm		
Código de diseño	ASME B31.3		
Junta permitida	3,2 mm		
Límites de servicio	Presión Temperatura	5,5 bar 425°C	19,6 bar -29°C

Tabla 9. Características de las tuberías de entrada y salida del DSH

La tubería del agua antes de la válvula que controla la descarga al atemperador tiene un rating mayor, ya que la presión real que soportará la tubería será de 21[bar]. Después de la válvula la presión se verá reducida notoriamente. Por esta razón el material de la tubería antes de la válvula de control del agua será diferente (tipo BA22).

ESPECIFICACIÓN TUBERÍA PARA MP BFW --- BA22			
Material	Acero al Carbono(CS)		
Rating	300#		
Espesor adicional de corrosión (CA)	1,5 mm		
Código de diseño	ASME B31.3		
Junta permitida	3,2 mm		
Límites de servicio	Presión Temperatura	51 bar 425°C	28,8 bar -29°C

Tabla 10. Características de la tubería antes de la válvula del agua

El código de diseño ASME B31.3 es el que se usa en tuberías para Plantas Químicas y Refinerías de Petróleo. Fue creado por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos e incluye tuberías de gas, tuberías de procesos, sistemas de tuberías de transporte de hidrocarburos líquidos y otros líquidos, tuberías de refrigeración y componentes de transferencia de calor, y servicios de tubería para construcción.

Las especificaciones ASTM son muy empleadas para materiales de tuberías. Así las tuberías que usaremos serán de ASTM A106 Gr.B, que designa la tubería de acero al carbono procedente de chapa ASTM-A 285 Gr. C convencional, indicadas para servir a altas temperaturas.

En la industria existen varios tipos de acabados de tubos utilizados para la instalación de sistemas. En nuestro caso, las tuberías han sido fabricadas sin soldadura o sin costura (“seam-less”), las cuales se manufacturan por medio de perforación y forja, torneado y calibración del hueco. La ausencia de costura es la mejor garantía de integridad de

presión de la tubería debido a su homogeneidad en todas las direcciones. La composición química correspondiente al grado B es la mostrada en la tabla 11.

Composición Química[%]								
Grado B								
C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
0,3	1,2	0,05	0,045	0,4	0,4	0,4	0,15	0,08

Tabla 11. Composición química del acero ASTM A106 Gr.B

La corrosión metálica es un fenómeno inevitable aunque sí controlable. Existen manuales que tabulan la corrosión estimada que sufrirá una tubería en micrómetros/año para un número de horas y ciclos de funcionamiento, en función del diámetro de la tubería y el tipo y concentración del fluido que se mueve. En función de este parámetro, se pueden calcular los años de operación o vida útil de la instalación.

Para acero al carbono, la corrosión mínima que dan muchas empresas es $1/16'' = 1,5[\text{mm}] (= 158,75 [\mu\text{m}])$ durante el periodo de vida útil de la instalación). En nuestro caso se ha optado por el mismo valor.

4.3.3.2 Tamaño y Schedule

Las tuberías se clasifican entonces por su tamaño o *diámetro nominal*, su *espesor*, su “*rating*” y su *material*.

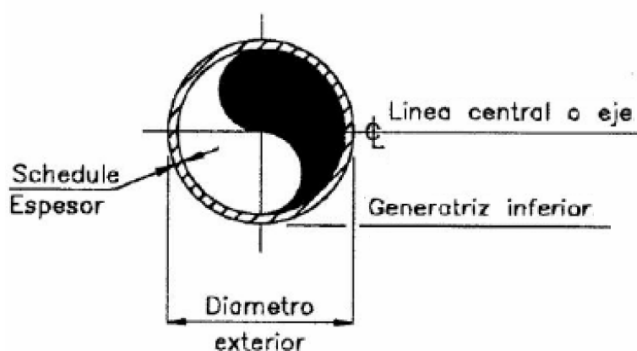


Figura 42. Sección transversal de una tubería

- El **diámetro nominal** (DN) es una dimensión ficticia, de carácter comercial, que no se corresponde necesariamente con una dimensión real de la tubería. En las tuberías de acero, los diámetros nominales estándares están comprendidos entre ½” y 44”, si bien no siempre todos los DN intermedios se encuentran comercialmente disponibles. En las tuberías de DN > 14”, el diámetro exterior coincide con el diámetro nominal.

- El **espesor** de una tubería viene dado por su “**schedue**”e. Éste es un parámetro de estandarización adimensional que se utiliza para identificar espesores comerciales de tuberías, según el servicio y las condiciones para las que está solicitada.

El espesor de una tubería –y por tanto, su diámetro interior– se puede conocer dando su DN y su “Sch” con la ayuda de las tablas del ANSI B36.10 y ANSI B36.19. El número de “**schedules**” disponibles depende, a su vez, del DN de la tubería.

En nuestro caso disponemos de una línea del vapor de 18” Sch10, con posibilidad de amplificadores/reductores de hasta ±3” para adecuar el equipo más competente. Los DSH podrán tener como tubería de entrada/salida los valores resaltados en la siguiente figura:

Dimensiones y peso del tubo soldado y sin soldadura, según ANSI B 36.10 M-2000 y ANSI B 36.19 M-2000

Diámetro Nominal	O.D mm	Schedule					STD Schedule			XS Schedule						XXS
		5S	10S	10	20	30	40S	40	60	80S	80	100	120	140	160	
14"	355.60	3.96	4.78	6.35	7.92	9.53	9.53	11.13	15.09	12.70	19.05	23.83	27.79	31.75	35.71	
		34.36	41.30	54.69	67.90	81.33	81.33	94.55	126.71	107.39	158.10	194.96	224.65	253.56	281.70	
16"	406.40	4.19	4.78	6.35	7.92	9.53	9.53	12.70	16.66	12.70	21.44	26.19	30.96	36.53	40.49	
		41.56	47.29	62.64	77.83	93.27	93.27	123.30	160.12	123.30	203.53	245.56	286.64	333.19	365.35	
18"	457.20	4.19	4.78	6.35	7.92	11.13	9.53	14.27	19.05	12.70	23.83	29.36	34.93	39.67	45.24	
		46.81	53.26	70.57	87.71	122.38	105.16	155.80	205.74	139.15	254.55	309.62	363.56	408.26	459.37	
20"	508.00	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70	9.53	15.09	20.62	12.70	26.19	32.54	38.10	44.45	50.01	
		59.25	68.61	78.55	117.15	155.12	117.15	183.42	247.83	155.12	311.17	381.53	441.49	508.11	564.81	
22"	559.00	4.78	5.54	6.35	9.53	12.70	9.53		22.23	12.70	28.58	34.93	41.28	47.63	53.98	
		65.24	75.53	86.54	129.13	171.09	129.13		294.25	171.09	373.83	451.42	527.02	600.63	672.26	

Números rojos: peso de la tubería en Kg

Números en negro: espesor en mm, Las dimensiones y espesores indicados son según normas DIN 2463, DIN 11.850 e ISO 4.200, para las tuberías más usuales utilizadas por la industria.

Figura 43. Dimensiones y peso de tuberías según ANSI B 36.10

Si se decidiese por el tipo VAD habría que colocar un ampliador antes del desrecalentador y un reductor después del mismo, ya que las dimensiones máximas de estos equipos según fabricante son de 16" Sch 80.

- El “*rating*” o *libraje* es la relación presión-temperatura para cada material, estando permitida la interpolación para el cálculo. Normalmente vienen referidos a las bridas, por tratarse de los elementos de unión más frágiles. Para obtener estos valores de presión, se realizan ensayos variando la temperatura a diferentes presiones de prueba.

Los datos de parejas presión-temperatura para diferentes clases (150#, 300#, 400#, 600#, 900#, 1500# y 2500#) vienen recogidos en el código ASME B16.5, frecuentemente en unidades anglosajonas. La equivalencia entre “ratings” y presiones nominales se adjunta en la tabla 12. El “*rating*” o clase es nominal y no representa la presión máxima que puede aguantar el material, ya que esta presión varía con la temperatura

CLASE	150	300	400	600	900	1500
PRESIÓN NOMINAL	20	50	68	100	150	250

Tabla 12. Equivalencias para clases, “ratings” y presiones [kg/cm²]

4.3.4 Otras consideraciones

- **Orientación del Desrecalentador** (vertical u horizontal): debido a la disposición de los equipos en la planta la disposición más viable es la horizontal. Por tanto, el desrecalentador del tipo orificio variable VO no es el más adecuado para nuestro proceso. Se deberán estudiar otras posibles opciones antes de introducir variantes en nuestro entramado de tuberías.

- **Longitud disponible de la tubería recta** para la instalación del desrecalentador y sus accesorios en la línea principal = 15m.

4.4 Conclusión en la elección del atemperador

A lo largo del capítulo se han ido recopilando todas la característica que nuestro atemperador debe de cumplir, y por medio de las cuales varios de los diferentes modelos de desrecalentador han sido descartados.

El tipo de desrecalentador mecánico modelo MA, ha sido eliminado ya que no cumple con el requisito de funcionamiento en condiciones mínimas de flujo. Nuestra instalación debe de poder operar con un turndown del 40% y este modelo, el de más simple diseño no lo consigue.

Los desrecalentadores que atomizan mecánicamente, pero usando varias boquillas, modelos SAMN y MNSD, tampoco sirven para nuestro propósito. Las condiciones a las que debe llegar el vapor desrecalentado a la siguiente unidad no se cumplen, por lo que el siguiente proceso perderá eficacia. Sólo se permite un margen de no más de 8[°C] sobre la temperatura de saturación en cada caso y estos equipos no pueden garantizar una aproximación menor de 8[°C].

El desrecalentador modelo SA-35, tampoco es válido, ya que éste opera en base a una línea de vapor atomizado, de la cual no disponemos. A esto, se une el hecho de que al igual que los dos modelos anteriores, supera el margen de error en cuanto a aproximación a la temperatura de saturación.

Nos quedaban, por tanto, tan sólo los desrecalentadores que funcionan usando la velocidad del flujo del vapor principal como medio para lograr el desrecalentamiento. En principio cualquiera de las dos unidades nos serviría, pero debido al entramado de tuberías, la colocación del equipo es difícilmente posicionable en modo vertical. Además, económicamente hablando, la unidad VAD es mucho menos costosa que la de orificio variable (VO).

PRECIOS APROXIMADOS DE ATEMPERADORES QUE OPERAN EN BASE A LA VELOCIDAD DEL FLUJO DEL VAPOR PRINCIPAL	
16" VAD	8.850 €
18" VO	23.600€

Tabla 13. Comparativa de precios entre los modelos VAD y VO

Se partirá de la hipótesis inicial de aceptar como válida la adquisición y posterior instalación de una unidad de desrecalentamiento de tipo Venturi, la cual incluye el propio atemperador VAD (36-DS-001A), una válvula de agua (TV 027), y un controlador de temperatura.

En el siguiente capítulo se procederá a la comprobación de dicha hipótesis. De no cumplirse, nos veremos obligados a reestructurar nuestro entramado de tuberías de manera que podamos alojar un atemperador modelo VO, lo cual incrementará notablemente el precio de nuestra instalación.

Capítulo 5

Tamaño y selección del desrecalentador tipo Venturi

5.1 Introducción

Como ya se ha explicado anteriormente el VAD es una línea de desrecalentamiento de las más rentables y versátiles del mercado.

Producido con materiales comunes, es óptimo para satisfacer el desrecalentamiento general y para aplicaciones de enfriamiento de gases. En esencia, nos encontramos ante un diseño con la cabeza del aerosol en acero inoxidable dinámicamente contorneado,

situada dentro de una sección corta de la tubería (cuerpo) de un modo concéntrico. La tubería actúa como cuerpo exterior y barrera de presión del atemperador. Es encajado en la línea principal del vapor por medio de bridas o conexiones soldadas según el caso.

El contorno especial de la cabeza del aerosol, guía y acelera el vapor sobrecalentado a un área restringida entre la cabeza del aerosol y la pared interna de la tubería.

Esta restricción provoca un aumento en la velocidad acompañada por una reducción leve en la presión. El líquido refrigerador se introduce a este punto y experimenta un aumento inmediato en velocidad y una disminución simultánea de la presión que es el instrumento adecuado para hacer que el líquido refrigerador se vaporice en una fina microcapa que es arrastrada aguas abajo debido a la fuerza de arrastre del vapor sobrecalentado que atraviesa la zona a gran velocidad. La fuerza de arrastre del vapor sobrecalentado actúa como barrera de prevención contra el choque del líquido refrigerador vaporizado contra la pared interna de la tubería.

La forma contorneada de la cara de la cabeza del aerosol en sentido descendente da lugar a una zona en la que se crea un vórtice en el cual serán atrapadas cualquier gota de líquido refrigerante que aún no haya sido absorbida. Aquí experimenta otra reducción en la presión y un régimen extremadamente turbulento del flujo que induce un mecanismo adicional de evaporación.

La velocidad del vapor entonces disminuye rápidamente y, debido al principio del venturi, su presión casi vuelve a la que teníamos antes de la restricción.

Como el líquido refrigerador se introduce en el vapor en una zona de baja presión, no existe ningún requisito especial con este dispositivo para presiones superiores excesivas. A diferencia de otros desrecalentadores Venturi de área fija, la pieza anular de la inyección del líquido refrigerador del VAD es infinitamente variable. Una característica autorreguladora garantiza una introducción circunferencial completa de 360° del líquido refrigerador en la corriente del vapor incluso en condiciones de flujo bajo.

Características:

- Control de la temperatura a 5[°C] de la temperatura de saturación
- Instalación horizontal o vertical
- “Rangeability” alto, hasta de 15:1
- La presión del líquido refrigerador necesita solamente sobrepasar a la presión del vapor en 0,5 [bar]
- Pieza anular autorreguladora del líquido refrigerador de 360° para una distribución uniforme
- Sin inyectores de aerosol que puedan obstruirse
- Mínima caída de presión en el lado del vapor
- No se requiere de encamisado térmico
- Conexiones con soldadura a tope o con bridas de ANSI 150, 300, 600

Materiales estándares:

- Cuerpo: ASTM A106 Gr.B (acero al carbono)
- Cabeza del aerosol: ASTM A312 TP316 (acero inoxidable)

Instalación y operación

- El VAD se puede instalar en líneas horizontales o verticales
- El flujo del líquido refrigerador es regulado por medio de una válvula de control que se suministra en conjunto con el desrecalentador óptimo.

5.2 Tamaño del desrecalentador

Nuestra instalación cuenta con una tubería de tramo recto suficiente para la instalación de todo el conjunto, siendo su tamaño de 18”Sch10. Como ya sabíamos de antemano el fabricante cuenta con un tamaño máximo de desrecalentador de 16”, por lo

que nos veremos obligados a adaptar ligeramente nuestra instalación con la introducción de un ampliador y un reductor. A continuación se muestra la oferta de atemperadores a nuestra disposición y se señala en amarillo la elección adecuada para nuestro caso.

Flanged

Size	ANSI 150 PN10/PN16	Lbs/Kg ANSI 300 PN40/PN64	ANSI 600 PN100
<u>1.00"</u> 25mm	<u>4</u> 2	<u>7</u> 3	<u>9</u> 4
<u>1.25"</u> 32mm	<u>7</u> 3	<u>9</u> 4	<u>11</u> 5
<u>1.50"</u> 40mm	<u>9</u> 4	<u>13</u> 6	<u>15</u> 7
<u>2.00"</u> 50mm	<u>13</u> 6	<u>18</u> 8	<u>20</u> 9
<u>2.50"</u> 65mm	<u>20</u> 9	<u>26</u> 12	<u>29</u> 13
<u>3.00"</u> 80mm	<u>26</u> 12	<u>37</u> 17	<u>42</u> 19
<u>4.00"</u> 100mm	<u>40</u> 18	<u>60</u> 27	<u>82</u> 37
<u>5.00"</u> 125mm	<u>51</u> 23	<u>79</u> 36	<u>135</u> 61
<u>6.00"</u> 150mm	<u>71</u> 32	<u>110</u> 50	<u>170</u> 77
<u>8.00"</u> 200mm	<u>132</u> 60	<u>187</u> 85	<u>276</u> 125
<u>10.00"</u> 250mm	<u>198</u> 90	<u>287</u> 130	<u>441</u> 200
<u>12.00"</u> 300mm	<u>298</u> 135	<u>397</u> 180	<u>551</u> 250
<u>14.00"</u> 350mm	<u>474</u> 215	<u>639</u> 290	<u>772</u> 350
<u>16.00"</u> 400mm	<u>662</u> 300	<u>860</u> 390	<u>1103</u> 500

Butt Weld

Size	Lbs/Kg
<u>1.00"</u> 25mm	<u>1</u> 0.4
<u>1.25"</u> 32mm	<u>1</u> 0.6
<u>1.50"</u> 40mm	<u>2</u> 1.0
<u>2.00"</u> 50mm	<u>4</u> 1.6
<u>2.50"</u> 65mm	<u>6</u> 2.5
<u>3.00"</u> 80mm	<u>9</u> 4.0
<u>4.00"</u> 100mm	<u>13</u> 6.0
<u>5.00"</u> 125mm	<u>22</u> 10.0
<u>6.00"</u> 150mm	<u>35</u> 16.0
<u>8.00"</u> 200mm	<u>75</u> 34.0
<u>10.00"</u> 250mm	<u>119</u> 54.0
<u>12.00"</u> 300mm	<u>170</u> 77.0
<u>14.00"</u> 350mm	<u>309</u> 140.0
<u>16.00"</u> 400mm	<u>463</u> 210.0

Figura 44. Pesos VAD con brida o soldadura a tope

Flanged

Size	F	G	H	J Flange ANSI (in) DN	K Flange ANSI (in) DN
1.00" 25mm	3.00" 76mm	6.00" 152mm	2.50" 64mm	1.00" 25mm	1/8 NPT
1.25" 32mm	3.25" 83mm	6.00" 152mm	2.50" 64mm	1.25" 32mm	1/4 NPT
1.50" 40mm	3.69" 94mm	7.00" 178mm	3.50" 89mm	1.50" 40mm	3/8 NPT
2.00" 50mm	3.88" 99mm	8.00" 203mm	3.50" 89mm	2.00" 50mm	3/8 NPT
2.50" 65mm	4.00" 102mm	8.00" 203mm	3.50" 89mm	2.50" 65mm	3/8 NPT
3.00" 80mm	6.00" 152mm	10.00" 254mm	4.00" 102mm	3.00" 80mm	.5" 15mm
4.00" 100mm	7.50" 191mm	11.00" 279mm	5.00" 128mm	4.00" 100mm	.75" 20mm
5.00" 125mm	8.00" 203mm	13.00" 330mm	6.00" 153mm	5.00" 125mm	.75" 20mm
6.00" 150mm	9.00" 229mm	15.00" 381mm	6.00" 153mm	6.00" 150mm	1.00" 25mm
8.00" 200mm	10.00" 254mm	16.00" 406mm	6.00" 153mm	8.00" 200mm	1.00" 25mm
10.00" 250mm	13.00" 330mm	19.00" 483mm	8.00" 204mm	10.00" 250mm	1.50" 40mm
12.00" 300mm	14.00" 356mm	21.00" 533mm	8.50" 217mm	12.00" 300mm	1.50" 40mm
14.00" 350mm	16.00" 406mm	24.00" 610mm	9.00" 230mm	14.00" 350mm	1.50" 40mm
16.00" 400mm	17.00" 432mm	27.00" 686mm	10.00" 255mm	16.00" 400mm	1.50" 40mm

Butt Weld

D		A	B	C	E	
Size	Sched.				Size	Sched.
1.00" 25mm	40	3.00" 76mm	5.50" 140mm	2.25" 57mm	0.12" 6mm	40
1.25" 32mm	40	3.25" 83mm	5.50" 140mm	2.25" 57mm	0.25" 8mm	40
1.50" 40mm	40	3.69" 94mm	6.50" 165mm	3.25" 83mm	0.38" 10mm	40
2.00" 50mm	40	3.88" 99mm	7.50" 191mm	3.25" 83mm	0.38" 10mm	40
2.50" 65mm	40	4.00" 102mm	7.50" 191mm	3.25" 83mm	0.38" 10mm	40
3.00" 80mm	40	5.75" 146mm	9.50" 241mm	3.75" 96mm	0.50" 15mm	40
4.00" 100mm	40	7.25" 184mm	10.50" 267mm	4.75" 121mm	0.75" 20mm	40
5.00" 125mm	40	7.75" 197mm	12.50" 318mm	5.75" 147mm	0.75" 20mm	40
6.00" 150mm	40	8.75" 222mm	14.50" 368mm	5.75" 147mm	1.00" 25mm	40
8.00" 200mm	80	9.75" 248mm	15.00" 381mm	5.75" 147mm	1.00" 25mm	40
10.00" 250mm	80	12.75" 324mm	18.00" 457mm	7.50" 191mm	1.50" 40mm	40
12.00" 300mm	80	13.75" 349mm	19.50" 495mm	7.75" 198mm	1.50" 40mm	40
14.00" 350mm	80	15.75" 400mm	22.50" 572mm	8.25" 210mm	1.50" 40mm	40
16.00" 400mm	80	16.75" 425mm	25.50" 648mm	9.25" 238mm	1.50" 40mm	40

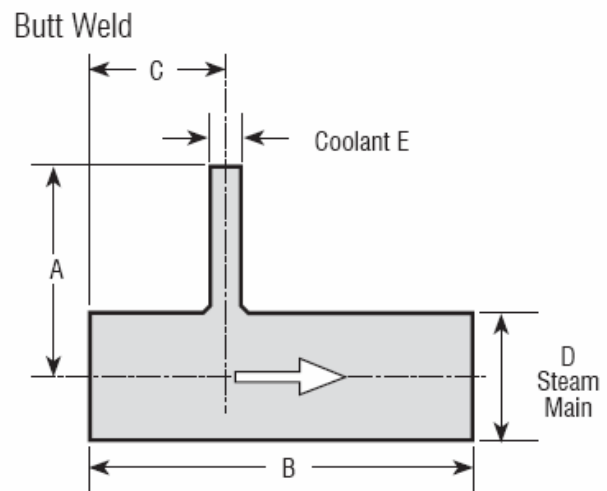
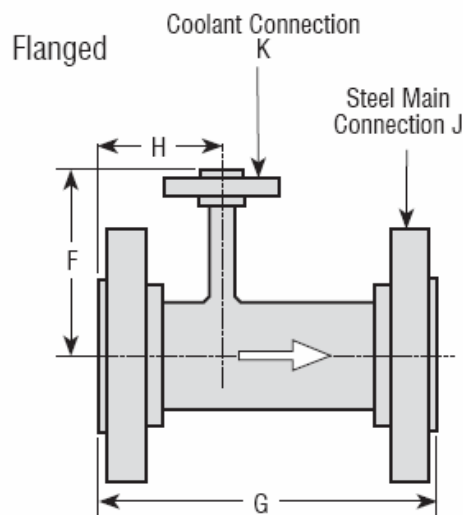
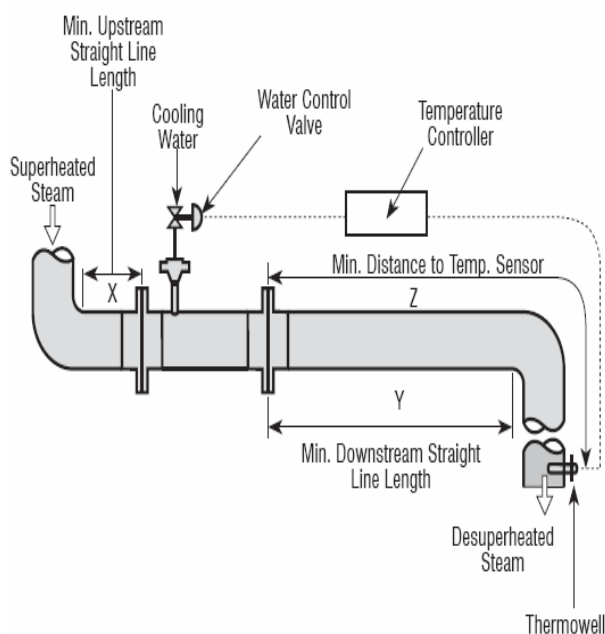


Figura 45. Dimensiones VAD con bridas o soldadura a tope



Size	Minimum Upstream Straight Line Length (X)	Minimum Downstream Straight Line Length (Y)	Minimum Distance to Temperature Sensor (Z)
1.00" 25mm	.75' 0.2m	10' 3m	20' 6m
1.25" 32mm	.75' 0.2m	10' 3m	20' 6m
1.50" 40mm	.75' 0.2m	10' 3m	20' 6m
2.00" 50mm	1' 0.3m	10' 3m	20' 6m
2.50" 65mm	1.5' 0.4m	10' 3m	20' 6m
3.00" 80mm	1.5' 0.4m	13' 4m	26' 8m
4.00" 100mm	1.75' 0.5m	13' 4m	26' 8m
5.00" 125mm	2.5' 0.7m	13' 4m	26' 8m
6.00" 150mm	2.75' 0.8m	13' 4m	26' 8m
8.00" 200mm	3.25' 1.0m	16.5' 5m	33' 10m
10.00" 250mm	4' 1.2m	16.5' 5m	33' 10m
12.00" 300mm	5' 1.5m	16.5' 5m	33' 10m
14.00" 350mm	6' 1.8m	16.5' 5m	33' 10m
16.00" 400mm	6.5' 2.0m	16.5' 5m	33' 10m

Figura 46. Dimensionamiento de la instalación

5.3 Comprobaciones previas

5.3.1 Introducción

Aunque “*a priori*” parece que el desrecalentador elegido será válido, debemos comprobar que cumplirá con las restricciones de nuestro sistema en cuanto a pérdida de carga y control de la temperatura.

Realizaremos un cálculo previo del sistema bajo la premisa de que la pérdida de carga en todo el proceso es de 0,15 [bar], dato que nos facilita el fabricante. Este dato es válido teóricamente sólo para el cuerpo principal del atemperador. Sin embargo, normalmente las pérdidas de carga a lo largo de la tubería y en los cambios de sección suelen ser de un orden de magnitud considerablemente inferior a la que tendremos en el cuerpo y podrán ser despreciados. Este supuesto será comprobado en un punto posterior. De no ser así, nos veremos en la obligación de modificar nuestro sistema de tuberías para poder alojar el atemperador de orificio variable, desrecalentador de alta gama que, aunque notoriamente más caro, cumpliría de esta manera con los requerimientos.

A continuación se expondrá el método de cálculo utilizado para la determinación de las condiciones de funcionamiento del sistema. La explicación del método se realizará en base al caso 1 para visualizar mejor el proceso y se expondrán todos los resultados finales en el Anexo A.

Condiciones iniciales para cada uno de los casos del proceso:

Casos	Flujo _{entrada} [kg/h]	T _{entrada} [°]	P _{entrada} [bar]	ΔP [bar]
1	25185	170	4,44	0,15
2	25187	190	5,42	0,15
3	24466	240	6,40	0,15
4	23649	240	4,44	0,15
5	10074	170	4,44	0,15

Tabla 14. Condiciones iniciales de proceso

Propiedades del vapor de entrada:

Caso 1- Vapor sobresaturado de entrada	
Presión [bar]	4,44
Temperatura _{funcionamiento} [°C]	170
Entalpía [KJ/kg]	2794,1
Densidad [kg/m ³]	2,24224
Viscosidad dinámica [μPa]	14,8295
Volumen Específico [m ³ /kg]	0,445

Tabla 15. Propiedades del vapor de entrada para el caso 1

Propiedades del vapor de salida:

Caso1- Vapor de salida	
Presión [bar] = $P_{\text{entrada}} + \Delta P_{\text{VAD}}$ [bar]	4,59
$T_{\text{saturación}}$ [°C]	148,64
T_{salida} [°C] = $T_{\text{saturación}} + \Delta T_{\text{VAD}}$ [°C]	153,64
Entalpía [KJ/kg]	2756,88
Densidad [kg/m ³]	2,242387
Viscosidad dinámica [μPa]	14,1649
Volumen Específico [m ³ /kg]	0,412563

Tabla 16. Propiedades del vapor de salida para el caso 1

Propiedades del líquido refrigerante:

Líquido refrigerante	
Presión [bar]	21
Temperatura[°C]	115
Entalpía [KJ/kg]	483,9

Tabla 17. Propiedades del líquido refrigerante

Cantidad de líquido refrigerante necesario para obtener vapor a 153,64 [°C]:

$$Q_c = Q_1 \cdot \frac{(H_1 - H_2)}{(H_2 - H_c)} = 25185 [kg/h] \cdot \frac{(2794,1 - 2756,88) [KJ/kg]}{(2756,88 - 483,9) [KJ/kg]} = 412,40 [kg/h]$$

5.3.2 Componentes de la línea

En nuestra instalación contaremos con 4 tramos rectos de tubería, un amplificador y un reductor. La pérdida de carga a través del cuerpo principal del atemperador es un dato ya fijado por el fabricante ($\Delta P_{VAD} = 0,15$ bar).

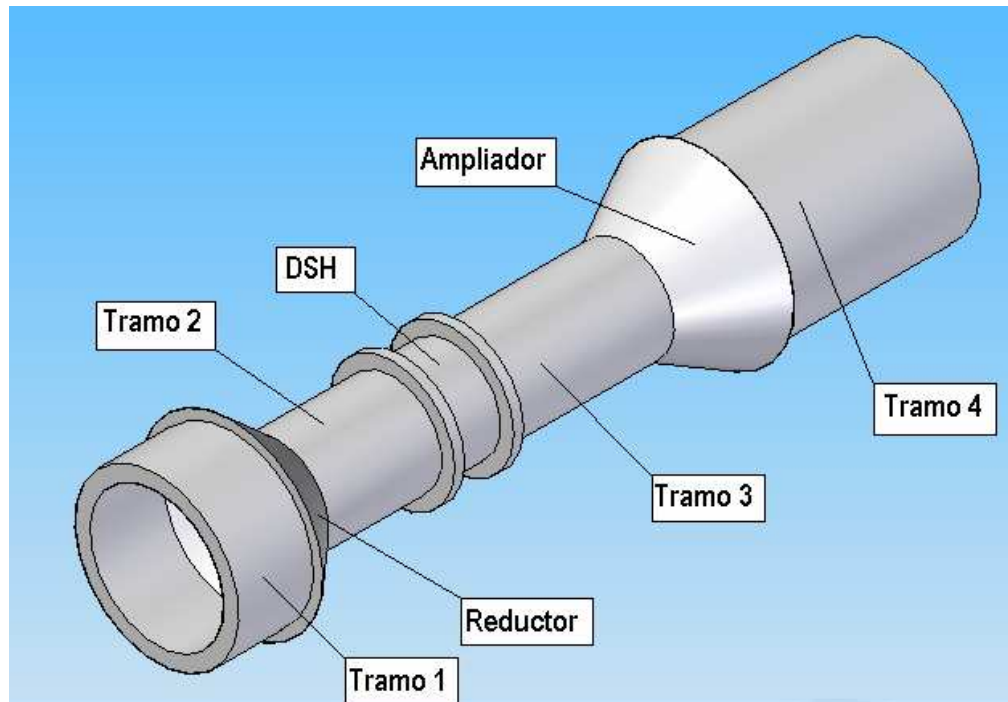


Figura 47. Tramos de tubería para la instalación del DSH

Los reductores/amplificadores son elementos soldables que se utilizan para reducir o ampliar el diámetro de una tubería. Los podemos encontrar de dos tipos: excéntricos y concéntricos. Nuestro diseño lo realizaremos mediante amplificadores/reductores concéntricos ya que no estamos sujetos a ninguna restricción en cuanto a soportes o alturas exactas en las tuberías.

Disponemos por tanto de tramos de tubería de acero comercial al carbono de las dimensiones que aparecen en la tabla 18. Según la norma que se viene utilizando en el proyecto (ASME B31), las uniones en tuberías de diámetros nominales mayores de 3” se realizan mediante soldadura a tope.

	DN[mm]	Espesor[mm]	D _{ext} [mm]	D _{int} [mm]	Tramo
18” Sch 10	457,20	6,35	457,00	444,50	1 y 4
16” Sch 80	406,40	21,44	406,40	363,52	2 y 3

Tabla 18. Dimensionamiento de las tuberías

Así mismo, los accesorios de tubería usados para proyectos de diseño con el código ASME B31 son fabricados con dimensiones estándar, basados en su tamaño y espesor de pared. Estos accesorios tienen los extremos biselados, y la unión se realizará mediante soldadura a tope, lo que permite una alta integridad, completa penetración y soldadura circunferencial completa.

A continuación se muestra el accesorio que utilizaremos tanto como amplificador como reductor ya que las tuberías de entrada y salida son las mismas en los dos casos.

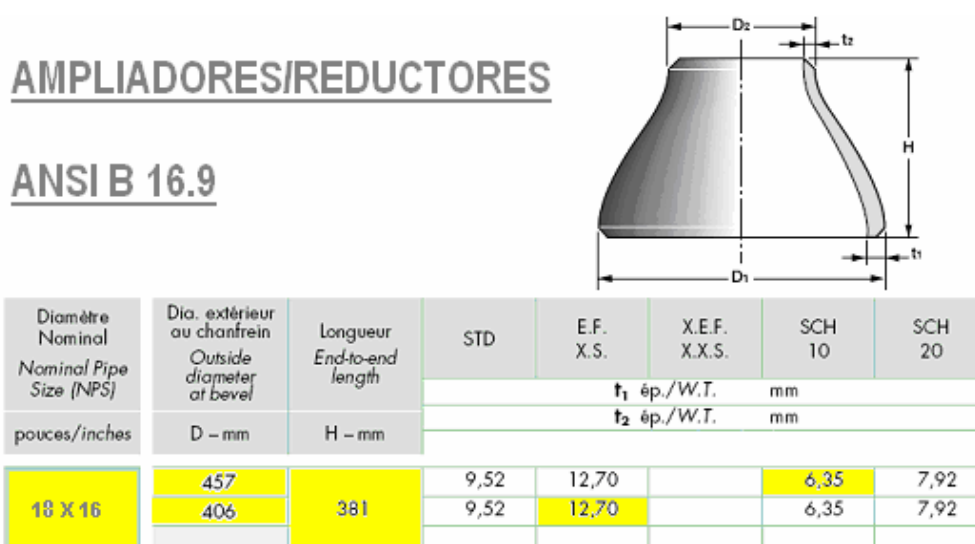


Figura 48. Dimensionamiento ampliadores/reductores según ASME B 16.9

5.3.3 Ecuación de continuidad en una tubería

La conservación de la masa de fluido a través de dos secciones (sean éstas S_1 y S_2) de una tubería, establece que la masa que entra es igual a la que sale. La ecuación de continuidad se puede expresar como:

$$\rho_1 \cdot S_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot S_2 \cdot v_2$$

Como $\rho_1 = \rho_2$ en el caso del agua, y el flujo está en régimen permanente:

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

O de otra forma:

$$Q_1 = Q_2$$

(El caudal que entra es igual al caudal que sale)

Donde:

Q = caudal [m^3/s]

v = velocidad media [m/s]

S = sección de la tubería [m^2]

Que se cumple cuando entre dos secciones de la conducción no se acumula masa.

A estos efectos es de aplicación el Principio de Bernoulli, que no es si no la formulación, a lo largo de una línea de flujo, de la Ley de conservación de la energía. La energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la geométrica, la altura debida a la presión y la altura debida a la velocidad, es decir:

$$Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = H$$

Donde:

Z = altura o elevación potencial sobre el nivel de referencia[m]

ρ = densidad del fluido [kg/m^3]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2]

H = altura total expresada en metros de columna de fluido

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aporta o se toma ninguna energía del sistema de tuberías, la altura total H en la ecuación anterior se mantendrá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo, en la realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli. Por tanto, el balance de energía puede escribirse para dos puntos del fluido, según se indica en la figura 49.

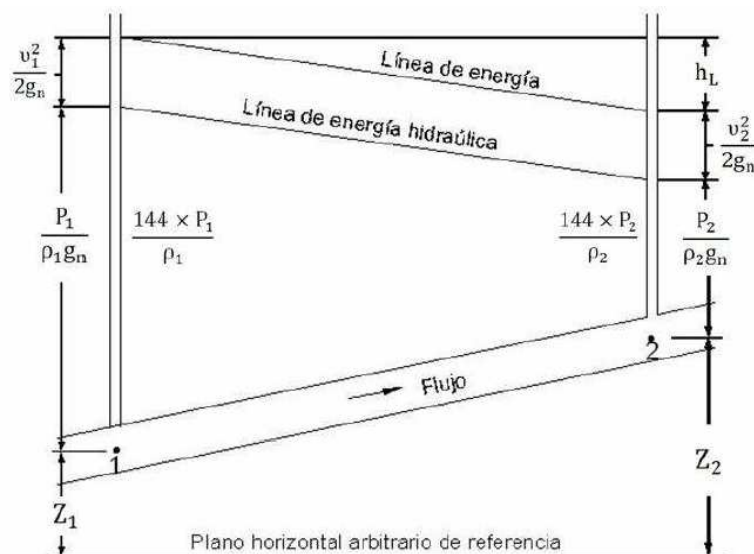


Figura 49. Balance de energía para dos puntos de un fluido

Nótese que la pérdida por rozamiento en la tubería desde el punto 1 al punto 2 (h_l) se expresa como la pérdida de altura en metros de fluido. La ecuación puede escribirse de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho_1 g} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho_2 g} + h_l$$

Todas las fórmulas prácticas para el flujo de fluidos que se verán en puntos sucesivos se derivan del teorema de Bernoulli, con modificaciones para tener en cuenta las pérdidas que haya en el sistema.

5.3.4 Pérdidas de carga en la tubería del vapor principal

El flujo de un líquido en una tubería viene acompañado de una pérdida de carga, que suele expresarse en términos de energía por unidad de peso de fluido circulante (dimensiones de longitud), denominada habitualmente **pérdida de carga**.

En el caso de tuberías horizontales, la pérdida de carga se manifiesta en una disminución de presión en el sentido del flujo.

La pérdida de carga está relacionada con otras variables fluidomecánicas según sea el tipo de flujo, laminar o turbulento. Además de las pérdidas de carga lineales (a lo largo de los conductos), también se producen pérdidas de carga singulares en puntos concretos como codos, ramificaciones, reducciones, etc.

5.3.4.1 Pérdidas lineales

La pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento.

Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos es la de Darcy-Weisbach. Sin embargo por su complejidad en el cálculo del coeficiente "f" de fricción ha caído en desuso. La fórmula original es:

$$h_l = f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

En donde:

h_l : pérdida de carga o de energía [m]

f: coeficiente de fricción [adimensional]

L: longitud de la tubería [m]

D: diámetro interno de la tubería [m]

v: velocidad media [m/s]

g: aceleración de la gravedad [m/s²]

Q: caudal [m³/s]

En términos de caída de presión:

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot f \cdot L \cdot v^2}{2D}, \quad \text{ya que} \quad \Delta P = h \cdot \rho \cdot g$$

ΔP : caída de presión [Pa]

ρ : densidad del agua [kg/m³]

El coeficiente de fricción “f” es función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería (ε_r):

$$f = f(\text{Re}, \varepsilon_r) \quad \text{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad \varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$$

μ : viscosidad del agua [N·s/m²]

ε : rugosidad absoluta de la tubería [m]

Los valores del número de Reynolds son los que sirven para caracterizar el tipo de flujo. Está claro que, para elevados números de Reynolds, el flujo es turbulento y para valores bajos es laminar. Sin embargo, la caracterización del flujo de transición en la zona de los números de Reynolds medios, difiere en función de las fuentes consultadas. Aquí vamos a dar algunos valores comúnmente aceptados:

Flujo laminar	$R \leq 2000$
Flujo de transición	$2000 < R < 4000$
Flujo turbulento	$R > 4000$

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de rugosidad absoluta para distintos materiales:

Valores de ε [mm] para diferentes tuberías	
Acero remachado	0.9 - 9
Madera cepillada	0.18 - 0.9
Hierro fundido	0.25
Hierro galvanizado	0.15
Hierro fundido asfaltado	0.12
Acero comercial o hierro forjado	0.046
Tubería estirada (PVC)	0.0015

Tabla 19. Rugosidad absoluta para diferentes materiales

Para el cálculo de "f" existen múltiples ecuaciones, pero lo que se usa de manera general es el diagrama de Moody, el cual consiguió representar la expresión más general de que se dispone en un ábaco de fácil manejo para calcular "f" en función del número de Reynolds (Re) y actuando la rugosidad relativa (ε_r) como parámetro diferenciador de las curvas.

5.3.4.2 Pérdidas lineales en singularidades

Además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección, codos, juntas...) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$h = K \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

En donde:

h: pérdida de carga o de energía [m]

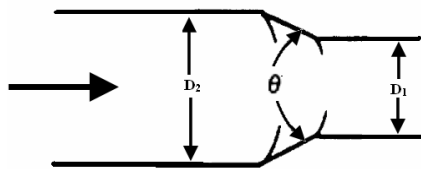
K: coeficiente empírico de pérdidas singulares [adimensional]

v: velocidad media del flujo [m/s]

g: aceleración de la gravedad [m/s²]

El coeficiente "K" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería. Las fórmulas que se utilizan para su cálculo son las que se muestran a continuación. Para una mejor visualización se ha tomado como $\beta = \frac{D_1}{D_2}$, tomando con subíndice 1 el diámetro inferior.

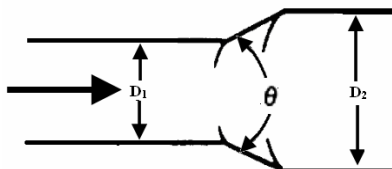
- Estrechamiento brusco y gradual:



$$\text{Si } \theta \leq 45^\circ \quad K = \frac{0,8 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4}$$

$$\text{Si } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad K = \frac{0,5(1 - \beta^2) \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}}}{\beta^4}$$

- Ensanchamiento gradual y brusco:



$$\text{Si } \theta \leq 45^\circ \quad K = \frac{2,6 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

$$\text{Si } 45^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad K = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

5.3.4.3 Cálculo específico en nuestro caso particular

5.3.4.3.1 Cálculo de la pérdida de carga para el tramo 1

- Velocidad media del vapor en la tubería:

$$v[m/s] = \frac{4Q[kg/h] \cdot v[m^3/kg]}{3600[s/h]D^2[m]^2 \cdot \pi}$$

$$v = \frac{4 \cdot 25185[kg/h] \cdot 0,445[m^3/kg]}{3600[s/h]0,4445^2[m]^2 \cdot \pi} = 20,06[m/s]$$

- Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{0,4445[m] \cdot 20,06[m/s] \cdot 2,24224[kg/m^3]}{14,8259 \cdot 10^{-6}[Pa \cdot s]} = 1,35 \cdot 10^6$$

$$Re = 1,35 \cdot 10^6 > 4000 \longrightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

- Cálculo del coeficiente de fricción “f”:

$$\varepsilon = 0,045[mm] \longrightarrow \varepsilon_r = \frac{0,045[mm]}{444,5[mm]} = 0,00010$$

Entrando en el diagrama de Moody con los valores de Re y ε_r hallados:

$$f = 0,013$$

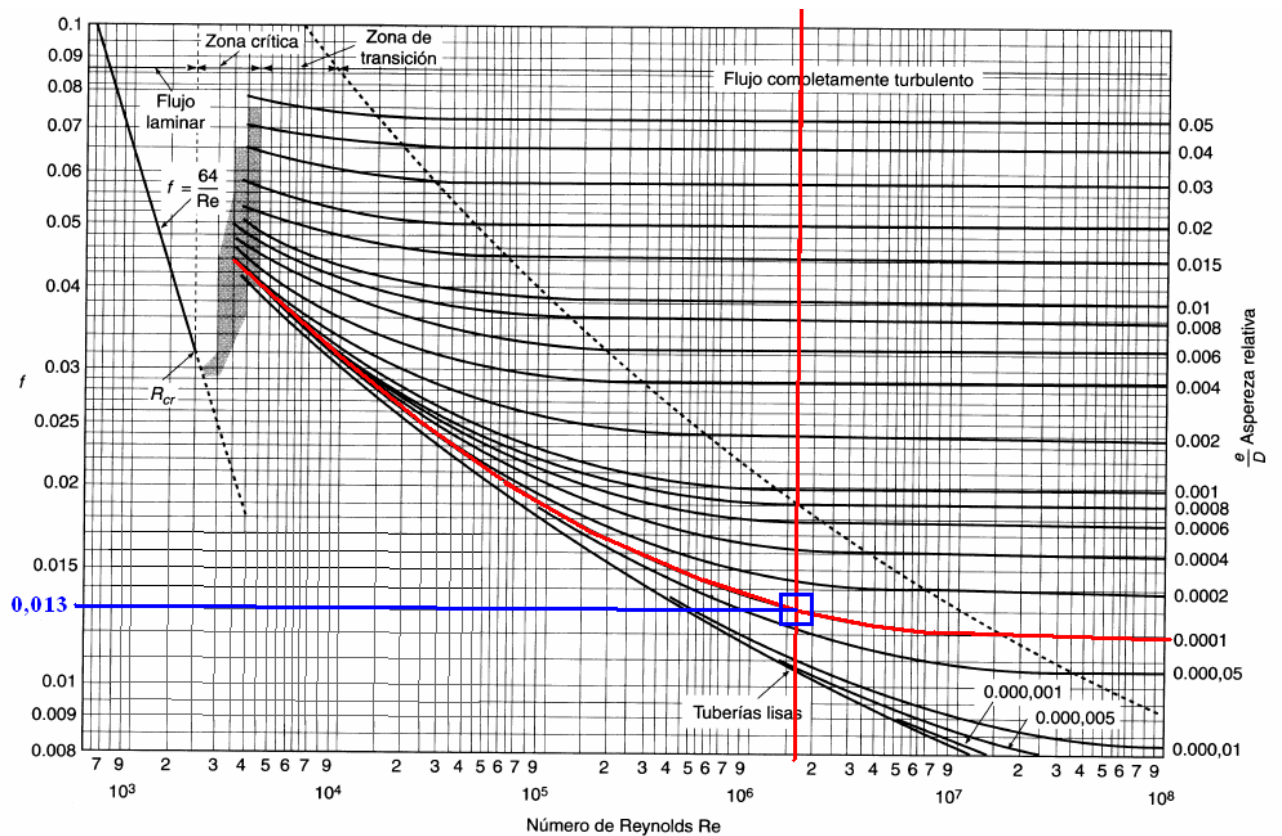


Figura 50. Diagrama de Moody

- Cálculo de la pérdida de carga en el tramo 1:

$$h = 0,013 \cdot \left(\frac{2[m]}{0,4445[m]} \right) \cdot \left(\frac{20,06^2[m/s]^2}{2 \cdot 9,81[m/s^2]} \right) = 1,1999[m]$$

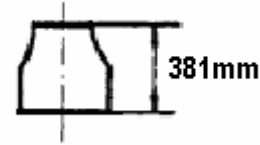
- Caída de presión a lo largo de los 2[m] de tubería:

$$\Delta P = 1,1999[m] \cdot 2,24224[kg/m^3] \cdot 9,81[m/s^2] = 26,391[Pa] = 2,6391 \cdot 10^{-4}[bar]$$

5.3.4.3.2 Cálculo de la pérdida de carga en el estrechamiento entre el tramo 1 y el tramo 2

- Velocidad de entrada del vapor en el ampliador: $v = 20,06[m/s]$
- Cálculo del parámetro K

$$\beta = \frac{363,52[mm]}{444,5[mm]} = 0,8178$$



$$\theta = \arctan \frac{\frac{D_2}{2} - \frac{D_1}{2}}{L} = \arctan \frac{222,25 - 187,76}{381} = 6,066[^\circ] = 0,106[rad]$$

$$\text{Si } \theta \leq 45^\circ \quad K = \frac{0,8 \left(\sin \frac{0,106}{2} \right) (1 - 0,8178^2)}{0,8178^4} = 0,03133$$

- Pérdida de carga:

$$h = 0,03133 \cdot \left(\frac{(20,26[m/s])^2}{2 \cdot 9,81[m/s^2]} \right) = 0,6428[m]$$

- Caída de presión:

$$\Delta P = 0,6428[m] \cdot 2,24224[kg/m^3] \cdot 9,81[m/s^2] = 14,14[Pa] = 1,414 \cdot 10^{-4}[bar]$$

5.3.4.3.3 Cálculo de la pérdida de carga para el tramo 2

- Velocidad media del vapor en la tubería:

$$v = \frac{4 \cdot 25185[kg/h] \cdot 0,445[m^3/kg]}{3600[s/h] \cdot 0,36352^2[m]^2 \cdot \pi} = 29,99[m/s]$$

- Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{0,36352[m] \cdot 29,99[m/s] \cdot 2,24224[kg/m^3]}{14,8259 \cdot 10^{-6}[Pa \cdot s]} = 1,65 \cdot 10^6$$

$$Re = 1,28 \cdot 10^6 > 4000 \longrightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

- Cálculo del coeficiente de fricción “f”:

$$\varepsilon = 0,045[mm] \longrightarrow \varepsilon_r = \frac{0,045[mm]}{363,52[mm]} = 0,00012$$

Entrando en el diagrama de Moody con los valores de Re y ε_r hallados: $f = 0,0132$

- Cálculo de la pérdida de carga en el tramo 1:

$$h = 0,0132 \cdot \left(\frac{2[m]}{0,36352[m]} \right) \cdot \left(\frac{29,99^2[m/s]^2}{2 \cdot 9,81[m/s^2]} \right) = 3,3303[m]$$

- Caída de presión a lo largo de los 2m de tubería:

$$\Delta P = 3,3303[m] \cdot 2,24224[kg/m^3] \cdot 9,81[m/s^2] = 73,32[Pa] = 7,33 \cdot 10^{-4}[bar]$$

5.3.4.3.4 Cálculo de la pérdida de carga para el tramo 3

- El flujo de vapor de agua a la salida del atemperador será la suma del vapor sobrecalentado que entró en el cuerpo del aparato más el agua refrigerante inyectada para su enfriamiento.

$$Q_{salidaVAD} = Q_{refrigerante} + Q_{vapor_entradaVAD}$$

$$Q_{salidaVAD} = 25185[kg/h] + 412,40[kg/h] = 25597,40kg/h$$

- Velocidad media del vapor en la tubería. En este punto el fluido experimentará la pérdida de carga que el fabricante nos asegura de 0,15[bar], por lo que las propiedades del mismo también se verán alteradas.

$$v = \frac{4 \cdot 25597,40[kg/h] \cdot 0,4125[m^3/kg]}{3600[s/h]0,36352^2[m]^2 \cdot \pi} = 28,28[m/s]$$

- Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{0,36352[m] \cdot 28,28[m/s] \cdot 2,4239[kg/m^3]}{14,1649 \cdot 10^{-6}[Pa \cdot s]} = 1,76 \cdot 10^6$$

$$Re = 1,76 \cdot 10^6 > 4000 \longrightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

- Cálculo del coeficiente de fricción “f”:

$$\varepsilon = 0,045[mm] \longrightarrow \varepsilon_r = \frac{0,045[mm]}{363,52[mm]} = 0,00012$$

Entrando en el diagrama de Moody con los valores de Re y ε_r hallados: $f = 0,0135$

- Cálculo de la pérdida de carga en el tramo 3:

$$h = 0,0135 \cdot \left(\frac{5[m]}{0,36352[m]} \right) \cdot \left(\frac{28,28^2[m/s]^2}{2 \cdot 9,81[m/s^2]} \right) = 7,5682[m]$$

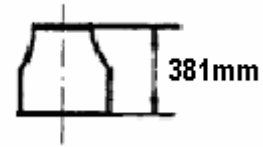
- Caída de presión a lo largo de los 5m de tubería:

$$\Delta P = 7,5682[m] \cdot 2,4239[kg/m^3] \cdot 9,81[m/s^2] = 179,96[Pa] = 1,8 \cdot 10^{-3}[bar]$$

5.3.4.3.5 Cálculo de la pérdida de carga en el ensanchamiento entre el tramo 3 y el tramo 4

- Velocidad media de entrada del vapor en el reductor: $v = 28,28[m/s]$
- Cálculo del parámetro K

$$\beta = \frac{363,52[mm]}{444,5[mm]} = 0,8178$$



$$\theta = \arctan \frac{\frac{D_2}{2} - \frac{D_1}{2}}{L} = \arctan \frac{222,25 - 187,76}{381} = 6,066[^\circ] = 0,106[rad]$$

$$\text{Si } \theta \leq 45^\circ \quad K = \frac{2,6 \left(\sin \frac{0,106}{2} \right) (1 - 0,8178^2)^2}{0,8178^4} = 0,03373$$

- Pérdida de carga:

$$h = 0,03373 \cdot \left(\frac{(28,28[m/s])^2}{2 \cdot 9,81[m/s^2]} \right) = 1,3748[m]$$

- Caída de presión:

$$\Delta P = 1,3748[m] \cdot 2,4239[kg/m^3] \cdot 9,81[m/s^2] = 32,699[Pa] = 3,27 \cdot 10^{-4}[bar]$$

5.3.4.3.6 Cálculo de la pérdida de carga para el tramo 4

- Velocidad media del vapor en la tubería

$$v = \frac{4 \cdot 25597,40[kg/h] \cdot 0,4125[m^3/kg]}{3600[s/h] 0,4445^2[m]^2 \cdot \pi} = 18,91[m/s]$$

- Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{0,4445[m] \cdot 18,91[m/s] \cdot 2,4239[kg/m^3]}{14,1649 \cdot 10^{-6}[Pa \cdot s]} = 1,44 \cdot 10^6$$

$$Re = 1,44 \cdot 10^6 > 4000 \longrightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

- Cálculo del coeficiente de fricción “f”:

$$\varepsilon = 0,045[mm] \longrightarrow \varepsilon_r = \frac{0,045[mm]}{444,5[mm]} = 0,00010$$

Entrando en el diagrama de Moody con los valores de Re y ε_r hallados: $f = 0,013$

- Cálculo de la pérdida de carga en el tramo 3:

$$h = 0,013 \cdot \left(\frac{5[m]}{0,4445[m]} \right) \cdot \left(\frac{18,91^2[m/s]^2}{2 \cdot 9,81[m/s^2]} \right) = 2,6661[m]$$

- Caída de presión a lo largo de los 5m de tubería:

$$\Delta P = 2,6661[m] \cdot 2,4239[kg/m^3] \cdot 9,81[m/s^2] = 63,396[Pa] = 6,34 \cdot 10^{-4}[bar]$$

5.3.4.3.7 Cálculo de la pérdida de carga total

- La pérdida de carga total a lo largo de los 4 tramos y el paso por los accesorios será:

$$h_{TOTAL} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$h_{TOTAL} = 1,1999[m] + 0,6428[m] + 3,3303[m] + 7,5682[m] + 1,3748[m] + 2,6661[m] = 16,7821[m]$$

La caída de presión a lo largo de los 4 tramos y el paso por los accesorios será:

$$\Delta P_{TOTAL} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6$$

$$\Delta P_{TOTAL} = 2,64 \cdot 10^{-4} [bar] + 1,41 \cdot 10^{-4} [bar] + 7,33 \cdot 10^{-4} [bar] + 1,80 \cdot 10^{-3} [bar] + 3,27 \cdot 10^{-4} [bar] + 6,34 \cdot 10^{-4} [bar] = 0,003898 [bar]$$

- Caída de presión a lo largo a través del cuerpo principal del atemperador:

$$\Delta P_{VAD} = 0,15 [bar]$$

- Caída de presión TOTAL a lo largo de todo nuestro sistema: tramo 1 (2 metros de tubería de 18”), tramo 2 (2 metros de tubería de 16”), cuerpo principal del desrecalentador, tramo 3 (5 metros de tubería de 16”), tramo 4 (2 metros de tubería de 16”), paso por accesorios (amplificador y reductor):

$$\Delta P_{TOTAL_INSTALCIÓN} = 0,003898 [bar] + 0,15 [bar] = 0,153898 [bar] < 0,3 [bar]$$

Como se muestra en el Anexo A todos nuestros casos tienen una caída de presión menor a 0,3[bar]. Por tanto, nuestra instalación cumple con los requisitos de caída de presión máxima permitida.

Debido al orden de magnitud del incremento de presión en las tuberías, los cálculos realizados en cuanto a propiedades del fluido en el proceso serán válidos ya que el error cometido está dentro de los límites establecidos.

5.3.5 Flujo límite de vapor en la tubería

A medida que el gas fluye por la tubería se produce una pérdida de presión debido a la energía disipada por las pérdidas por fricción. Si la presión disminuye desde el punto 1 al punto 2, entonces la densidad entre 1 y 2 disminuirá, y para satisfacer el balance de materia, la velocidad aumentará conforme la densidad del gas decrezca. El aumento de la velocidad tiene un límite práctico, y es que la velocidad del fluido no debe sobrepasar el valor de la velocidad del sonido en el medio. Por tanto, la velocidad máxima de un fluido compresible en una tubería está limitada por la velocidad de propagación de una onda de presión que se mueve a la velocidad de 1 sonido en el fluido. Como la presión decrece y la

velocidad se incrementa a medida que el fluido se mueve corriente abajo por una tubería de sección constante, la velocidad máxima aparece en el extremo de la tubería. Si la pérdida de presión es muy alta, la velocidad de salida coincide con la velocidad del sonido. Al reducir aún más la presión en la salida, no se detecta corriente arriba ya que la onda de presión sólo se mueve a la velocidad del sonido y la “señal” no se traslada corriente arriba. El “exceso” de caída de presión obtenido al reducir la presión en el exterior después de haber alcanzado el máximo de descarga se produce más allá del extremo de la tubería. Esta presión se disipa en ondas de choque y turbulencias del fluido saliente.

La velocidad máxima en una tubería se puede expresar como:

$$v_{sónica} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T} = 316,2 \sqrt{\gamma \cdot p \cdot v}$$

Donde γ , el cociente de los valores específicos a presión constante y a volumen constante, para la mayor parte de los gases diatómicos es de aproximadamente 1,3. Esta velocidad aparece en el extremo de salida o en una reducción de sección cuando la caída de presión es muy alta. La presión, temperatura y el volumen específico son los que existen en el punto en cuestión.

En nuestro caso, es importante comprobar que no se llega a la velocidad sónica a la salida del atemperador.

$$v_{sónica} = 316,2 \sqrt{1,3 \cdot 5,59[bar] \cdot 0,412563[m^3/kg]} = 496,12[m/s]$$

$$v_{salida} = 28,28[m/s] = 5,7\% v_{sónica}$$

Por tanto, no corremos el riesgo en ningún caso de alcanzar este límite (ver Anexo A), y nuestra instalación será segura en cuanto a este aspecto.

5.4 Instalación

5.4.1 Recomendaciones del fabricante

Las recomendaciones se basan en experiencias pasadas y asumiendo que el entramado de tuberías y las buenas prácticas operativas sean un hecho.

El VAD es un atemperador de mantenimiento gratuito que ha sido diseñado para ser instalado y no dar problema alguno. La modificación de esta unidad en cualquier forma o realizar sustituciones que no sean de fábrica o partes interiores drásticamente puede poner en peligro el rendimiento de la unidad y anular cualquier tipo de garantía.

La correcta operación de la unidad depende de un suministro satisfactorio de la cantidad de refrigerante que será regulado por una válvula de control de refrigerante que debe tener un rango mayor al del atemperador. La instalación deficiente puede dar lugar a fuerzas indeseables y que pueden perjudicar el rendimiento del atemperador.

5.4.1.1 Antes de la entrega

Poco después de que la orden sea registrada, se enviará una copia del certificado de la compañía en la especificación de la hoja de datos (ver Apéndice B) que detalla las condiciones de funcionamiento para el que se diseñó el equipo, junto con los dibujos que ilustran el equipo.

5.4.1.2 En la recepción

Se deberá realizar:

A. Control físico en la recepción. Se deberá comprobar que el atemperador corresponde al que aparece en la lista de recibos para garantizar que el suministro es correcto, que la unidad está completa y que no ha sufrido daño alguno durante el transporte.

B. Disposiciones de almacenamiento correctos. Si se tiene la intención de almacenar el atemperador por cualquier período de tiempo antes de la instalación deben adoptarse las siguientes medidas:

1. Cuando se utilicen bolsas de desecante como parte del procedimiento de embalaje, para minimizar la humedad, se adjuntará una etiqueta en una superficie exterior en la que se indica el número de bolsas, su ubicación y el nombre comercial del desecante. Las bolsas de desecante deben ser sustituidas cada tres meses.
2. Las superficies metálicas que no estén pintadas deberán ser protegidas contra la oxidación mediante la aplicación de una capa de algún compuesto como el CRC 3-36 o equivalente. El tratamiento debe aplicarse una vez al año.

C. Inspecciones durante el almacenamiento:

1. Examinar visualmente las superficies exteriores del equipo cada medio año y las superficies interiores accesibles cada año. El desmontaje del equipo no es necesario, y no debe llevarse a cabo en cualquier momento. La eliminación de los tapones de transporte permitirá una inspección satisfactoria, y si el almacenamiento a largo plazo de los equipos se ha traducido en un deterioro, la unidad debe devolverse al fabricante para su reacondicionamiento.
2. Agua, aceite, grasa u otro material extraño debe ser eliminado del equipo, y se deben tomar medidas para que no existan fuentes de contaminantes a su alrededor.
3. Los equipos almacenados con desecante deben ser inspeccionados para asegurar el reemplazo correcto del mismo y de si se encuentran bien y seguros en el equipo.

4. Inspeccionar todas las cubiertas del equipo y las tapas y tapones temporales de envío para asegurarse de que estos artículos están firmemente sujetos y están realizando su función de mantener los elementos externos alejados del atemperador.

D. Garantía de almacenamiento a largo plazo: debería considerarse la posibilidad de contratar los servicios de un ingeniero del fabricante para inspeccionar el equipo si el período de almacenamiento es superior a un año o se sospecha que las condiciones de almacenamiento no van a ser las más adecuadas. Alternativamente, si hay alguna preocupación por la condición del equipo como consecuencia del almacenamiento a largo plazo, debe considerarse la posibilidad de devolver el equipo al fabricante para un examen completo y/o una renovación de considerarse necesaria.

5.4.1.3 Ubicación

El VAD se puede instalar tanto en posición horizontal como vertical. Si la unidad se va a instalar en una instalación vertical, en el punto más bajo de la instalación se deberá colocar una trampa de vapor para eliminar cualquier exceso de líquido refrigerante condensado que podría acumularse en ese punto. En cualquier caso, la unidad debe ser instalada con la cabeza rociadora mirando aguas abajo del flujo del vapor.

A la hora de seleccionar la ubicación del VAD, se deberá considerar que se tendrán que realizar revisiones rutinarias en él. Esto normalmente se hará mediante la eliminación de la unidad de la línea, por lo que el acceso debe ser el adecuado para dicho efecto.

Se debe prestar atención al efecto de las perturbaciones en el flujo creadas por la configuración de las tuberías entrantes en el rendimiento del atemperador. Lo ideal sería que la tubería fuese recta y de diámetro uniforme sin expansores, tes, codos o válvulas a lo largo de la distancia recomendada.

Aguas abajo del atemperador se debe dejar la longitud indicada por el fabricante de tubería recta para evitar que en la curva se produzca la separación de las partículas de

líquido refrigerante del vapor por la acción centrífuga. Esto también es necesario para evitar la compresión del refrigerante en la pared de la tubería.

5.4.1.4 Entrada del refrigerante

La entrada de refrigerante en el VAD es a través de la conexión de entrada del agua, la cual estará situada por debajo de la del vapor principal, si la instalación lo permite. Esto facilitará el mantenimiento de un suministro de refrigerante a la unidad cuando la unidad esté fuera de servicio, o esté operando a cargas muy ligeras. Así mismo, ayudará a minimizar el riesgo de choque térmico, y acelerar la respuesta cuando el atemperador entre de nuevo en servicio. La válvula de control del refrigerante debe estar situada por debajo del atemperador por la misma razón.

5.4.1.5 Tamaño de cabeza y velocidad de la línea

Cualquier tipo de atemperador con rociador se basa en la velocidad del vapor para mantener las partículas del refrigerante en suspensión el tiempo suficiente para que puedan ser absorbidas por el vapor mismo. Si no sucede, las partículas dejan de estar en suspensión y caen, acumulándose en la parte inferior de la tubería principal, desde donde serán arrastradas aguas abajo. El fabricante recomienda una velocidad mínima, y ésta debe permanecer por lo menos 2 metros aguas abajo del atemperador. Si la tubería existente es demasiado grande para alcanzar esta velocidad mínima, se deberá colocar una tubería de menor sección en esta zona o en su defecto, una línea Venturi para aumentar la velocidad local del atemperador.

5.4.1.6 Ubicación del sensor de temperatura

La ubicación del elemento sensor de temperatura es crítica para que la operación sea satisfactoria. La distancia está determinada por el fabricante, quien ha tenido en cuenta el recalentamiento en el vapor residual y la diferencia entre la temperatura del vapor de salida y la del líquido refrigerante. Si es necesario desviarse de estas recomendaciones con el fin de despejar una obstrucción o una curva, la distancia debe ser alargada.

5.4.1.7 Suministro de refrigerante

El refrigerante ideal es condensado o líquidos con un máximo de 11 ppm de sólidos disueltos. Es importante que el líquido refrigerante esté desaireado, de lo contrario existe el riesgo de que este oxígeno se libere durante la etapa de evaporación provocando la corrosión por oxígeno, en particular de la tubería de acero al carbono.

El VAD tiene componentes y tolerancias muy controladas en accesos que pueden verse afectadas por la entrada de materias extrañas. El refrigerante, por tanto, no debe contener partículas extrañas. Si existe alguna posibilidad de lo contrario, se recomienda la instalación de un colador de malla 30x30 antes de la entrada del líquido refrigerante. Una malla de 30x30 contiene 900 agujeros por pulgada cuadrada que no permitirá que las partículas mayores de 0,025 " puedan pasar.

5.4.1.8 Trampas de vapor

Se recomienda la colocación de una trampa de vapor entre el atemperador y el sensor de temperatura al menos a 2/3 de esa distancia aguas abajo. Esto asegurará que cualquier gota de refrigerante que no haya sido absorbida y haya caído de la suspensión sea eliminada del flujo del vapor antes de que alcance el sensor.

5.4.1.9 Instalación

Los discos de protección que se ajustan a cada conexión en el atemperador para su protección durante el transporte deben dejarse en esta posición hasta poco antes de su instalación. Cuando se realice el montaje se deben emplear tuberías adecuadas al caso. Se debe tener cuidado así mismo de que las bridas se unan correcta y alineadamente de manera que no haya distorsión alguna en el flujo cuando el aparato se halle en funcionamiento y a altas temperaturas.

Antes de conectar el extremo final de la tubería del refrigerante se deberá asegurar de que ésta ha sido limpiada a fondo y esté libre de materias extrañas. Se recomienda que el atemperador no se instale hasta después de que las líneas de vapor hayan sido limpiadas químicamente para evitar cualquier daño en la boquilla.

5.4.2 Conexión del equipo al entramado de tuberías

Las tuberías del sistema se unirán a las entradas y salidas del equipo por medio de bridas.

La brida es un elemento de fabricación en acero forjado que se emplea para unir tuberías entre sí, con accesorios o con toberas. Las uniones bridadas son temporales en cuanto que se pueden desmontar si por cuestiones de mantenimiento o emergencia es requerido.

Las uniones bridadas están compuestas por dos bridas, una junta, pernos con o sin cabeza roscada y tuercas. Son fácilmente desmontables. Existen los siguientes tipos:

- De cuello soldable (WN, “Welding Neck”)
- Deslizantes (“Slip on”)
- Roscadas (“Screwed”)
- De enchufe (SW, “Socket Weld”)
- “Lap Joint” o brida loca
- Ciegas.
- Desmontables tipo “clamp”

Las caras de las bridas pueden ser lisas (FF, “flat face”), con resalte (RF, “Raised Face”), de anillo (RTJ, “Ring Joint Type”) y macho-hembra (“Male & female”).

Las juntas pueden ser de materiales diversos, como caucho, resinas revestidas, PTFE, con espiras metálicas, etc. Antiguamente se usaba con frecuencia el asbesto, pero ha sido desechado por su acción cancerígena.

Los materiales más usados son los aceros forjados y las bridas formadas a partir de chapa torneada, éstas últimas para bajas presiones.

La norma que regula la fabricación de bridas (“flanges”) para plantas de refinería petrolífera es la ANSI B16.5, que establece las siguientes clases, según sea el intervalo presión-temperatura de trabajo 150# ,300# ,400# ,600#, 900#, 1500# y 2500#.

Para las bridas de acero al carbono la temperatura máxima es de 260°C para 150# y de 455°C para las demás clases. La variación de presión admisible-temperatura de trabajo es de valores más altos para acero inoxidable y aleado.

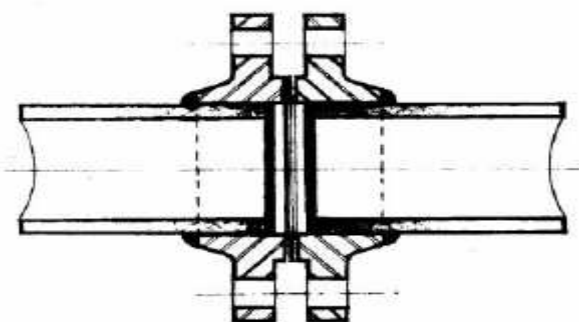


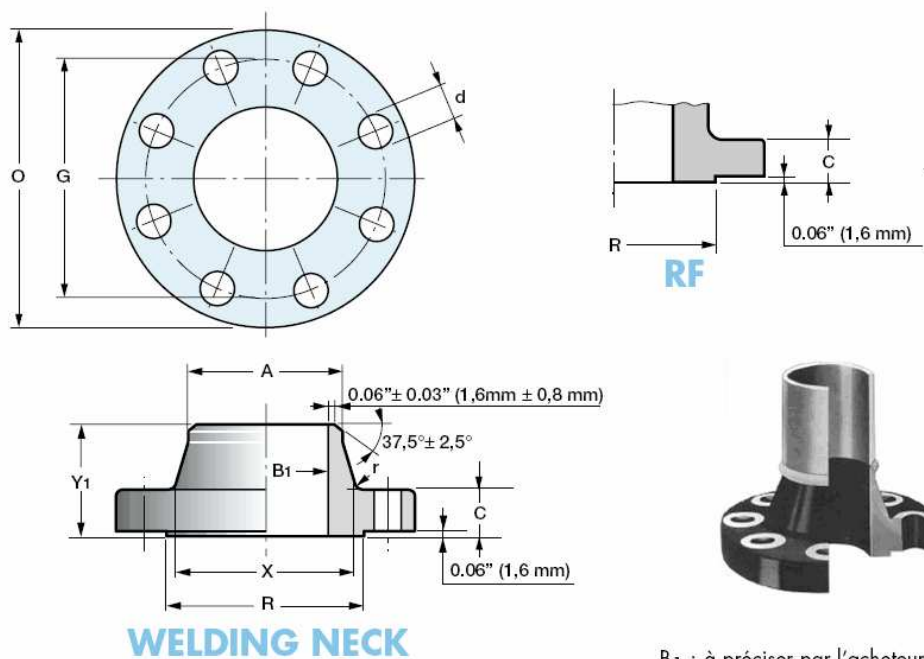
Figura 51. Conexión bridada

En nuestro caso particular, existen unas exigencias de diseño para toda la planta en la que se establecen las propiedades de las conexiones (ver Anexo B), que son las que se muestran a continuación:

- **Brida de cuello** (WN, “welding-neck”). Es la más extendida por ser la más idónea para condiciones severas de presión y temperatura, así como servicios criogénicos. Es la unión que usaremos en nuestros equipos tanto para la tubería del agua como para la del vapor principal. El extremo de la tubería se bisela para hacer una soldadura a tope con el extremo de la tubería. Se trabajará con bridas de cara resaltada rugosa (RF, “raised face”) las cuales alojan a una junta metálica o espirometálica que hace estanqueidad. El resalte de cara RF sobresale 1/16" en las de 150 y 300 #; en el resto de los "rating", el resalte es de 1/4"; es el tipo de brida más común, componiendo cerca del 80% del total de bridas de la planta.

Brida y contra-brida deben coincidir en diámetro y “rating”, por lo que las bridas que nos facilite el suministrador serán de las mismas características que las que a continuación se muestran como las seleccionadas.

ASME B 16.5



WELDING NECK

B₁ : à préciser par l'acheteur

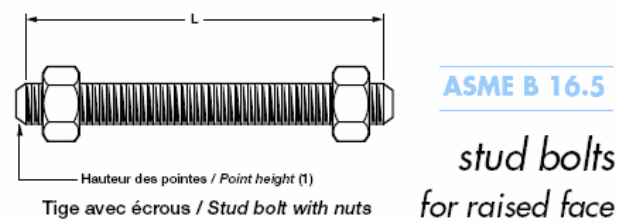
Diamètre Size		O	C mini	R	Perçage / Drilling			X	A	Y ₁	Masse Weight
DN	NPS	mm	mm	mm	Nombre Number	G mm	d mm	mm	mm	mm	kg
32	1 1/4	117	15,7	63,5	4	88,9	15,8	59	42,2	57	1,4
40	1 1/2	127	17,5	73,0	4	98,4	15,8	65	48,3	62	1,8
50	2	152	19,1	92,1	4	120,6	19,0	78	60,3	76	2,7
350	14	584	53,8	412,8	20	514,4	31,8	425	355,6	143	84,0
400	16	648	57,2	469,9	20	571,5	35,0	483	406,4	146	111,0
450	18	711	60,5	533,4	24	628,6	35,0	533	457,0	159	138,0

REFRIGERANTE

VAPOR

Figura 52. Bridas seleccionadas para las uniones del atemperador con las tuberías del refrigerante y del vapor

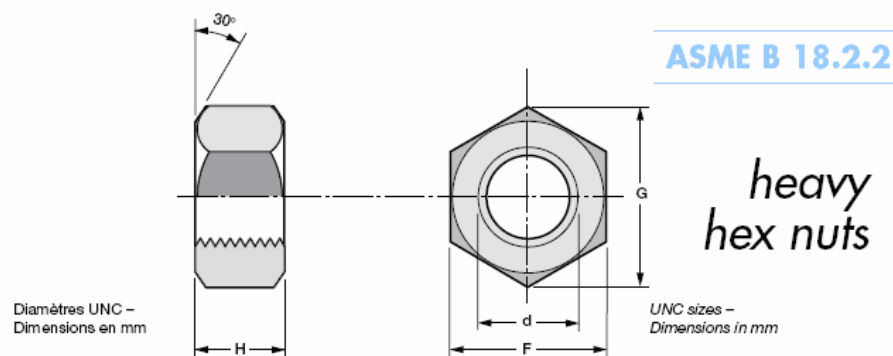
El ASME B16.5 también se refiere a los tornillos y pernos empleados en la unión brida-contrabrida.



Diamètre nominal Nominal pipe size		Stud bolts		Pour brides ISO PN 150 /	
		Nomb. de tiges Numb. of bolts	Diamètre des tiges Diameter of bolts	Diamètre des tiges	
DN	NPS			UNC	ISO
				pouces inches	mm
32	1 1/4	4	7/8	M 24	
40	1 1/2	4	1	M 27	
50	2	8	7/8		
350	14	20	1 1/2	M 39	
400	16	20	1 5/8	M 42	
450	18	20	1 7/8	M	

REFRIGERANTE

VAPOR



Diamètre nominal Nominal size	G		H		F		Nombre de filets au pouce Number of threads per inch	Masse / 100 pièces Weight per 100 pieces kg
	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini		
d								
7/8	42,2	40,4	22,5	21,2	36,5	35,4	9	13,5
1	47,7	45,6	25,7	24,3	41,3	40,0	8	19,3
1 1/8	53,2	50,8	28,9	27,4	46,0	44,6	8	
1 1/2	69,6	66,6	38,2	36,4	60,3	58,4	8	
1 5/8	75,2	71,8	41,5	39,5	65,1	63,0	8	73,6
1 3/4	80,6	77,1	44,7	42,6	69,9	67,6	8	94

REFRIGERANTE

VAPOR

Figura 53. Pernos y tornillos seleccionados para la unión de brida y contrabrida en el lado del agua y en el lado del vapor

La elección de la junta ha de hacerse para que ésta rompa siempre antes que la brida. Estas pueden ser sólidas o de anillo, metálicas, espirometálicas o de naturaleza polimérica

o celulósica. El amianto está prohibido desde hace décadas en su fabricación por sus propiedades cancerígenas.

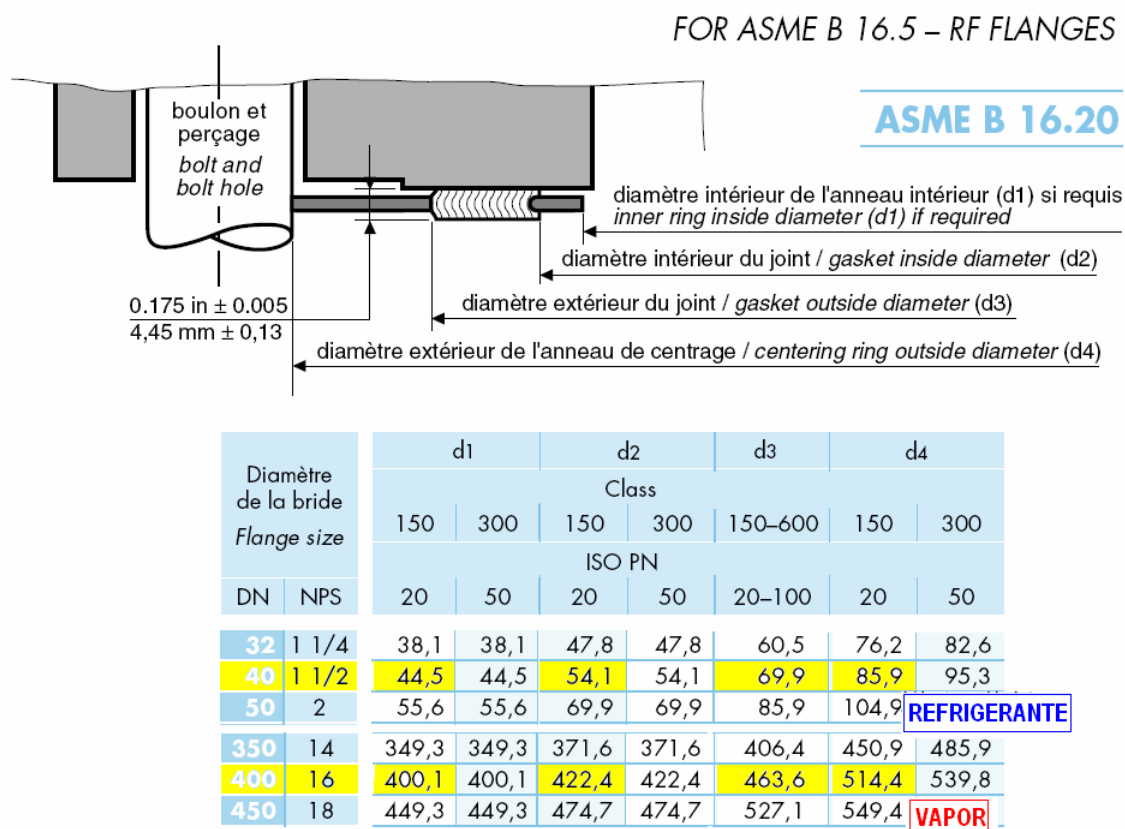


Figura 54. Junta espirometálica para las uniones bridadas del refrigerante y el vapor principal

5.4.3 Componentes adicionales

Además de los elementos principales hasta ahora comentados, nuestra instalación se compondrá además por una válvula que regula el paso de refrigerante al atemperador, y de un sensor de temperatura que mandará la señal oportuna a la válvula para abrir o cerrar el paso en función de la cantidad de vapor a desrecalentar.

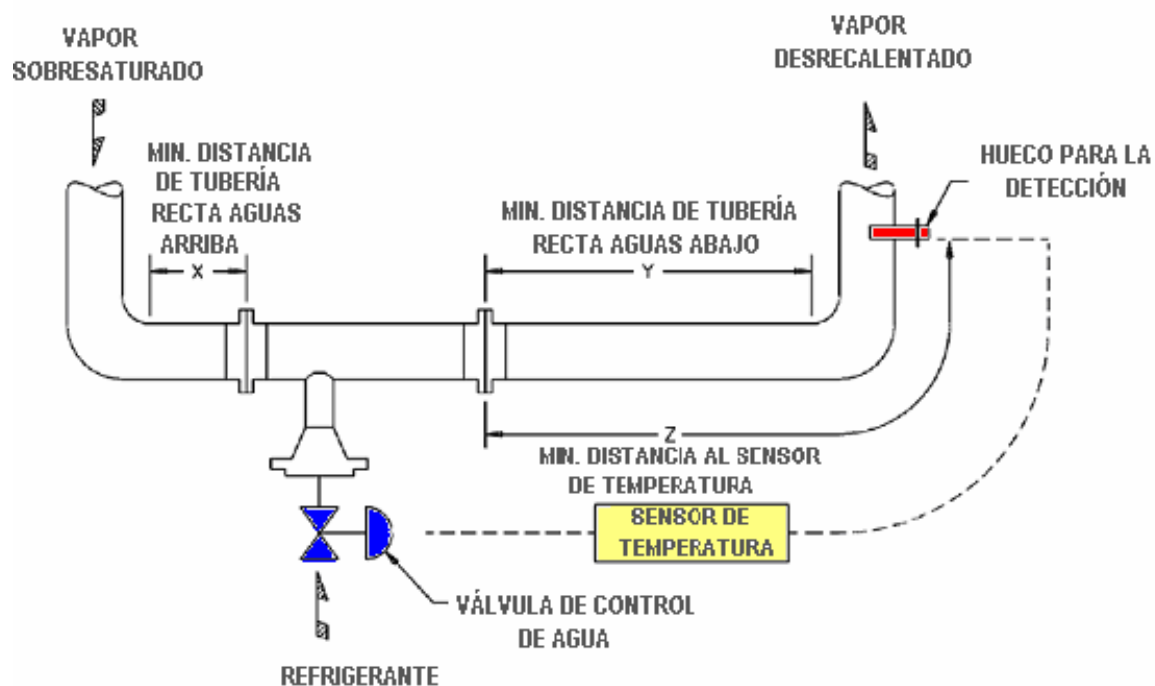


Figura 55. Componentes adicionales a la instalación

5.4.3.1 Válvula de control del agua

Estas válvulas no se consideran como elementos de obturación, sino más bien elementos de regulación; por ello su diseño se basa en una válvula de globo, accionada mediante un diafragma, que actúa sobre el eje del obturador.

Las válvulas de control se fabrican en materiales similares al resto de las válvulas de un sistema, pero las superficies de asiento y cierres se endurecen para hacer frente a la continua erosión a la que están sometidas.

Los obturadores adoptan formas diversas según su función: regulación de caudal o regulación de presión. El actuador típico es el diafragma, que alojado en una cámara recibe aire a presión controlada en un lado, transmitiendo a través de un vástago el movimiento a la pieza de cierre controlando así el área libre de paso.

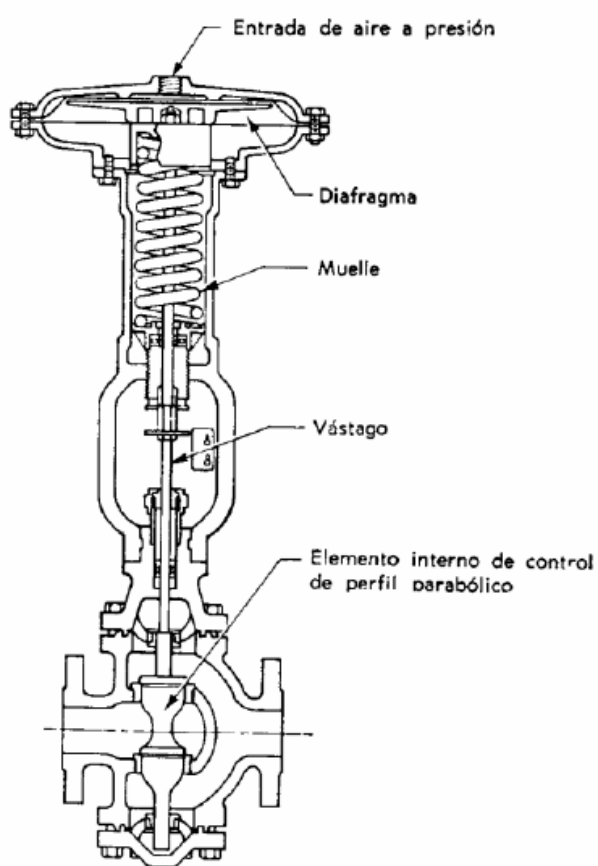


Figura 56. Componentes de una válvula de control y aspecto externo de la misma

El suministrador nos provee con una válvula de control de globo o asiento (ver características en Anexo B).

5.4.3.2 Sensor de temperatura

Los termómetros o aparatos que se emplean para la medida de la temperatura se basan en alguno de estos tres tipos de fenómenos: termomecánicos, termoelectrónicos y ópticos.

Las escalas termométricas se definen por dos puntos fijos representados por valores atribuidos arbitrariamente a dos cambios de estado físico del agua; la fusión del hielo y la ebullición del agua, ambos a la presión atmosférica (760mm de Hg). En Europa se usa la escala centígrada, que es la que hemos venido utilizando en todo el diseño.

El montaje de los termómetros debe hacerse teniendo en cuenta sus propias características y las condiciones del contorno.

Un termómetro o sonda con una cabeza no aislada, junto con una escasa inmersión de la sonda está sujeta a errores, ya que el calor del fluido se pierde en parte a través de las paredes de la tubería, sin una buena transferencia de calor.

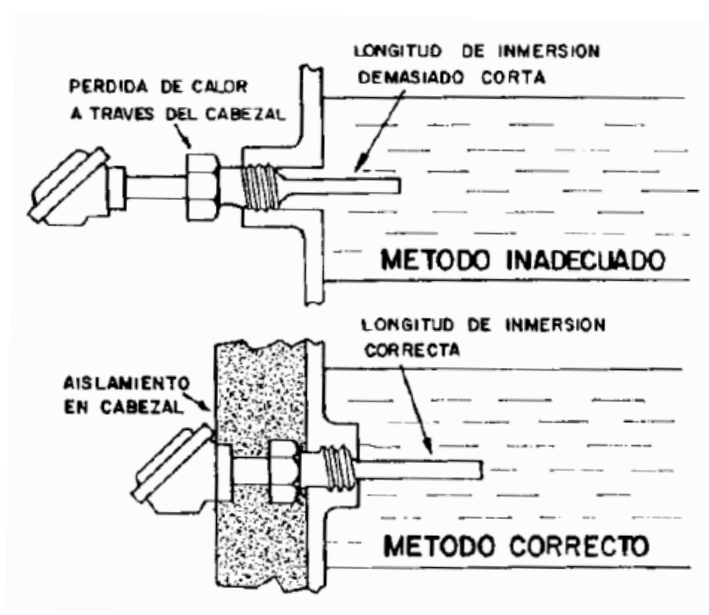


Figura 57. Montaje de una sonda o termómetro

Por tanto deberá prestarse extrema atención en la instalación de la sonda y su conexión a la válvula de control para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

5.5 Conclusión

Después de los cálculos y comprobaciones pertinentes que se han realizado a lo largo del capítulo, llegamos a la conclusión de que la unidad seleccionada cumple con todos los requisitos preestablecidos.



Contaremos, por tanto, con una unidad de desrecalentamiento de tipo Venturi VAD que suministrará vapor sobresaturado a punto de saturar para que ceda el calor latente de cambio de fase a su paso por la unidad regeneradora de aminas.

Capítulo 6

Conclusiones

Las conclusiones principales que dan respuesta a los objetivos planteados al inicio del proyecto se recogen a continuación:

- La unidad de aminas de una refinería de petróleo necesita de una fuente de energía para el aporte de calor que necesita para realizar la destilación en la columna regeneradora. Por su reducido tamaño, eficiente funcionamiento y económico coste, los atemperadores de contacto directo proponen la solución más ventajosa para preparar el vapor sobrecalentado de la planta para tal cometido.
- Son muchos los modelos de atemperadores que hoy en día se encuentran en el mercado. Nuestra instalación es parte de un sistema de tuberías por el que circula vapor de agua sobresaturada de baja presión. Se necesita que el vapor sobrecalentado llegue al hervidor a la temperatura más cercana a la saturación y

con la menor pérdida de presión posible. Es por ello, que el modelo de atemperador VAD, variedad del tipo Venturi, que atomiza por velocidad, era “*a priori*” el que mejor cumplía con nuestras pretensiones.

- Después de realizar las comprobaciones necesarias para garantizar el funcionamiento y seguridad de la unidad VAD, llegamos a la conclusión de que éste es el equipo más idóneo.

Bibliografía

- M.A.Ramos Carpio, “Refino de petróleo, gas natural y petroquímica” , ETSI Industriales, 1997.
- Incropera, Frank.P. y De Witt, David P., “Fundamentos de transferencia de calor”, 4ªed, Editorial Prentice Hall, 1999.
- Moran, Michael J. y Shapiro, Howarr N., “Fundamentos de termodinámica técnica”, 4ºed, Editorial Reverté, 2004.
- Preparado por la división de ingeniería de Crane, “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”, Editorial Mc Graw-Hill, 1992.
- Nelson, W.L ,”Refino de petróleos”, Editorial Reverté, 1958.
- Eguiraun, Carlos, “Los atemperadores, un arma de doble filo”, Infopower, nº118 (Julio/Agosto 2009).

- Donohue, Kristin, “Desuperheater selection and optimization”, Chemical Engineering, August 2001.
- “Curso de diseño de tuberías para plantas de proceso”, COMFIA & FUNDACIÓN MADRID FORMACIÓN Y EMPLEO, 2005.
- “Training guide for desuperheaters”, Técnicas Reunidas, S.A.
- ASME B31.3, “Process piping”, 2008.
- ASME B16.5, “Pipe flanges and flanged fittings”, 2009.
- ASME B16.20, “Metallic Gaskets for Pipe Flanges: Ring-Joint, Spiral-Wound, and Jacketed”, 2007
- ASME B36.10M, “Welded and seamless wrought steel pipe”, 2001.
- ASME B36.19M, “Stainless Steel Pipe”, 2004.
- ASME B18.2.2, “Square and Hex Nuts”, 1987.
- ASTM Estándar for Steel piping tubing, 2001.
- [http:// www.krilinux.com](http://www.krilinux.com) , Accedido en enero 2010.
- [http:// www.copesvulcan.com](http://www.copesvulcan.com) , Accedido en enero 2010.
- [http:// www.intech-kiekens.nl](http://www.intech-kiekens.nl) , Accedido en enero 2010.
- [http:// www.equirepsa.com](http://www.equirepsa.com) , Accedido en enero 2010.
- [http:// www.yarway.com](http://www.yarway.com) , Accedido en enero 2010.

Anexo A-Tablas de resultados

36-DS-001		Unids	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Entrada	Flujo	Kg/h	25185	25187	24466	23649	10074
	Temperatura	°C	170	190	240	240	170
	Presión	bar	4,44	5,42	6,4	4,44	4,44
	Entalpía	KJ/kg	2794,1	2831,9	2935	2942,4	2794,1
	Volumen específico	Kg/m ³	0,445	0,381	0,361	0,524	0,445
	Densidad	m ³ /kg	2,2422	2,6197	0,7702	1,9067	2,2422
	Viscosidad dinámica	μPa	14,8295	15,621	17,6929	17,7348	14,8295
	Velocidad	m/s	29,99	25,68	23,64	33,17	11,99
	Velocidad sónica	m/s	506,76	518,08	548,00	549,91	506,76
	%Velocidad sónica	m/s	5,9	5,0	4,3	6,0	2,4
Salida	Flujo	Kg/h	25597,40	26062,45	26213,72	25579,22	10238,96
	Temperatura de saturación	°C	148,64	155,94	162,29	148,64	148,64
	Temperatura	°C	153,64	160,94	167,29	153,64	153,64
	Incremento de Presión	bar	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Presión	bar	4,59	5,57	6,55	4,59	4,59
	Entalpía	KJ/kg	2756,88	2753,03	2771,58	2756,88	2756,88
	Volumen específico	Kg/m ³	0,4126	0,3435	0,2945	0,4126	0,3535
	Densidad	m ³ /kg	2,4239	2,9109	3,3953	2,4239	2,4239
	Viscosidad dinámica	μPa	14,165	14,407	14,614	14,165	14,165
	Velocidad	m/s	28,28	23,98	20,67	28,26	11,31
	Velocidad sónica	m/s	496,12	498,71	500,74	496,12	496,12
	%Velocidad sónica	m/s	5,70	4,81	4,13	5,70	2,28
Refrigerante	Flujo	Kg/h	412,40	875,45	1747,72	1930,22	164,96
	Temperatura	°C	115	115	115	115	115
	Presión	bar	21	21	21	21	21
	Entalpía	KJ/kg	483,9	483,9	483,9	483,9	483,9
	Volumen específico	Kg/m ³	0,00105	0,00105	0,00105	0,00105	0,00105
	Densidad	m ³ /kg	948,029	948,029	948,029	948,029	948,029
	Viscosidad dinámica	μPa	243,399	243,399	243,399	243,399	243,399

PÉRDIDAS DE CARGA A LO LARGO DE LA INSTALACIÓN

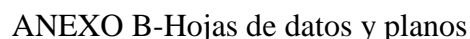
36-DS-001		Unids	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Tramo 1	Diámetro	m	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445
	Longitud	m	2	2	2	2	2
	Velocidad media	m/s	20,06	17,18	15,81	22,18	8,02
	Reynolds	adim	1,35E+06	1,28E+06	3,06E+05	1,06E+06	5,39E+05
	Coef.fricción	adim	0,013	0,0128	0,024	0,013	0,0145
	Pérdida de carga	m	1,1999	0,8662	1,3757	1,4670	0,2141
	Pérdida de presión	bar	2,64E-04	2,23E-04	1,04E-04	2,74E-04	4,71E-05
Estrechamiento	Velocidad entrada	m/s	20,06	17,18	15,81	22,18	8,02
	$\beta = \frac{D_{mayor}}{D_{menor}}$	adim	0,8178	0,8178	0,8178	0,8178	0,8178
	θ	rad	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106
	K	adim	0,03133	0,03133	0,03133	0,03133	0,03133
	Pérdida de carga	m	0,6428	0,4713	0,3993	0,7860	0,1029
	Pérdida de presión	bar	1,41E-04	1,21E-04	3,02E-05	1,47E-04	2,26E-05
Tramo 2	Diámetro	m	0,36352	0,36352	0,36352	0,36352	0,36352
	Longitud	m	2	2	2	2	2
	Velocidad media	m/s	29,99	25,68	23,64	33,17	11,99
	Reynolds	adim	1,65E+06	1,57E+06	3,74E+05	1,30E+06	6,59E+05
	Coef.fricción	adim	0,0132	0,013	0,021	0,013	0,02
	Pérdida de carga	m	3,3303	2,4046	3,2905	4,0099	0,8073
	Pérdida de presión	bar	7,33E-04	6,18E-04	2,49E-04	7,50E-04	1,78E-04



ANEXO A- Tablas de resultados

Tramo 3	Diámetro	m	0,36352	0,36352	0,36352	0,36352	0,36352
	Longitud	m	5	5	5	5	5
	Velocidad media	m/s	28,28	23,98	20,67	28,26	11,31
	Reynolds	adim	1,76E+06	1,76E+06	1,75E+06	1,76E+06	7,04E+05
	Coef.fricción	adim	0,0135	0,0135	0,013	0,0135	0,0145
	Pérdida de carga	m	7,5682	5,4400	3,8952	7,5574	1,3006
	Pérdida de presión	bar	1,80E-03	1,55E-03	1,30E-03	1,80E-03	3,09E-04
Ensanchamiento	Velocidad entrada	m/s	28,28	23,98	20,67	28,26	11,31
	$\beta = \frac{D_{mayor}}{D_{menor}}$	adim	0,8178	0,8178	0,8178	0,8178	0,8178
	θ	rad	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106
	K	adim	0,03373	0,03373	0,03373	0,03373	0,03373
	Pérdida de carga	m	1,3748	0,9882	0,7348	1,3728	0,2200
	Pérdida de presión	bar	3,27E-04	2,82E-04	2,45E-04	3,26E-04	5,23E-05
Tramo 4	Diámetro	m	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445
	Longitud	m	5	5	5	5	5
	Velocidad media	m/s	18,91	16,04	13,83	18,90	7,57
	Reynolds	adim	1,44E+06	1,44E+06	1,43E+06	1,44E+06	5,75E+05
	Coef.fricción	adim	0,013	0,013	0,013	0,013	0,0145
	Pérdida de carga	m	2,6661	1,9164	1,4250	2,6624	0,4758
	Pérdida de presión	bar	6,34E-04	5,47E-04	4,75E-04	6,33E-04	1,13E-04
Total	Pérdida de carga	m	16,7821	12,0868	11,1205	17,8554	2,0992
	Pérdida de presión	bar	0,003898	0,003345	0,002400	0,003928	0,000497

Anexo B - Hojas de datos y planos



		<h1 style="text-align: center;">Piping Material Classification</h1>		Project : XXXXXXXXXX
				Doc. No : XXXXXXXXXX
				Rev. : XXXX
<h2 style="margin: 0;">SPECIFICATION: AA22</h2>				
Service	Boiler feed water/ LP steam/Condensate/Blow down/Process with hydrogen (Jacket for AA55J)			
Material	CS			
Rating	150 lbs		Pressure	Temperature
Facing	RF		Service Limits :	-29 DegC
Corrosion Allowance	1.5 mm		5.5 barG	425 DegC
Heat Treatment	-			
Design Code	ASME B31.3			
Gasket Allowance	3.2 mm			

Temperature:	DegC	-29	38	100	145	200	250	300	325	350	375	400	425
Pressure:	barG	19.6	19.6	17.7	16	13.8	12.1	10.2	9.3	8.4	7.4	6.5	5.5

Size :	0	5	7.5	1	1.5	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	30	36
Schedule:	0	S-160	S-160	S-160	S-160	S-80	S-40	S-40	S-40	S-20	S-20	S-20	S-10	S-10	S-10	S-10	S-20	CALC	CALC

Atemperadores de contacto directo

Valves						
Rev Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description
	CHE	1	5 - 1.5	in	HVCL30A2014F0M100801	ELEMENT: Lift Check Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: - TRIM: No. 8 See Data Sheet
	CHE	1	2 - 24	in	HVCA10A5012B0AG00801	ELEMENT: Swing Check Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 150 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: - TRIM: No. 8 See Data Sheet
	GAT	1	5 - 1.5	in	HVGA30A2014F1M100801	ELEMENT: Gate Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
	GAT	1	2 - 12	in	HVGA10A5012B1AG00801	ELEMENT: Gate Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 150 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
	GAT	1	14 - 24	in	HVGA10A5012B2AG00801	ELEMENT: Gate Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 150 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Gear Operator TRIM: No. 8 See Data Sheet

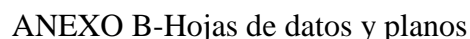
Valves						
Rev Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description
	GAT	23	5 - 1.5	in	HVGA10A2012B1AG00801	ELEMENT: Gate Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 150 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
	GLO	1	5 - 1.5	in	HVLA30A2014F1M100801	ELEMENT: Globe Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
	GLO	1	2 - 8	in	HVLA10A5012B1AG00801	ELEMENT: Globe Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 150 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet

Flanges						
Rev Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description
	BLF	1	5 - 24	in	HFBFLA2016B0A3000	ELEMENT: Blind Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 150 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
	FL3	773	5 - 1.5	in	HFSWFLA2018C0A3000	ELEMENT: Socket Weld Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5

Flanges						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
		FL3	773	2 - 24	in	HFWNFLA2017CDA3000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, Class 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
		FL6	781	.5 - 1.5	in	HFSWFLA2018E0A3000 ELEMENT: Socket Weld Flange MATERIAL: ASTM A105, Class 600 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
		FL6	781	2 - 24	in	HFWNFLA2017E0A3000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, Class 600 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
		FLG	1	.5 - 1.5	in	HFSWFLA2018B0A3000 ELEMENT: Socket Weld Flange MATERIAL: ASTM A105, Class 150 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
		FLG	1	2 - 24	in	HFWNFLA2017B0A3000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, Class 150 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
		ORI	1	1 - 24	in	!! EXISTING !! HFWTAA2017C1AK000 ID38954 ELEMENT: Welding Neck Orifice Flange with 1/2" Threaded Taps MATERIAL: ASTM A105, Class 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.36

Forged Fittings						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
		45E	1	.5 - 1.5	in	HC45ELA2018B30A4000 ELEMENT: 45 Degree Elbow Long Radius - MATERIAL: ASTM A105, Class 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11

Forged Fittings						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
		45E	121	.5 - 1.5	in	HC45ESA2018B30AE000 ELEMENT: 45 Degree Elbow - MATERIAL: ASTM A105, Class 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.9 / ASME B16.28 (SR BW Elbows and Returns)
		90E	1	.5 - 1.5	in	HC90ELA2018B30A4000 ELEMENT: 90 Degree Elbow - MATERIAL: ASTM A105, Class 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
		90E	121	.5 - 1.5	in	HC90ESA2018B30A4000 ELEMENT: 90 Degree Elbow - MATERIAL: ASTM A105, Class 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
		BR90	1	.5 - 1.5	in	HCTE90A2018B30A4000 ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, Class 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
		BR90	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCRT90A2018B30A4000 ELEMENT: Reducing Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, Class 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
		CAP	1	.5 - 1.5	in	HCCAPSA2018B30A4000 ELEMENT: Cap - MATERIAL: ASTM A105, Class 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11



Forged Fittings								
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description	Note
		CAP	541	5 - 1.5	in	HCCAPSA201420A4000	ELEMENT: Cap - MATERIAL: ASTM A105, γ, α, β, CLASS: 3000 ENDS: Threaded Female Ends STANDARD: ASME B16.11	
		CPL	1	5 - 1.5	in	HCFCOPA201630A4000	ELEMENT: Full Coupling - MATERIAL: ASTM A105, γ, α, β, CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11	
		CSW	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCCSWGGA301301D3000	ELEMENT: Concentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, γ, α, β, ENDS: Plain Ends STANDARD: MSS-SP-95	
		CSW	1	2 - 3 / .5 - 1.5	in	HCCSWGGA301201D3000	ELEMENT: Concentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, γ, α, β, ENDS: Bevelled Large End/Plain Small End STANDARD: MSS-SP-95	
		ESW	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCESWGGA301301D3000	ELEMENT: Eccentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, γ, α, β, ENDS: Plain Ends STANDARD: MSS-SP-95	
		ESW	1	2 - 3 / .5 - 1.5	in	HCESWGGA301201D3000	ELEMENT: Eccentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, γ, α, β, ENDS: Bevelled Large End/Plain Small End STANDARD: MSS-SP-95	
		PLU	1	.75 - 1.5	in	HCPLURA201300A4000	ELEMENT: Round Head Plug - MATERIAL: ASTM A105, γ, α, β, CLASS: - ENDS: Threaded Male Ends STANDARD: ASME B16.11	

					Forged Fittings			
Rev	Cl Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description	Note
		RTE	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCRT90A201J30A4000	ELEMENT: Reducing Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11	3-
		TEE	1	.5 - 1.5	in	HCTE90A201B30A4000	ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11	3-

Buttwelding Fittings/Plastic Fittings								
Rev	Cl Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description	Note
		45E	1	2 - 24	in	HA45ELA301C01A5000	ELEMENT: 45 Degree Elbow Long Radius (R=1.5D), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., -, -, -, ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9	
		45E	121	2 - 24	in	HA45ESA301C01A5000	ELEMENT: 45 Degree Elbow Short Radius (R=1D), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., -, -, -, ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9	
		90E	1	2 - 24	in	HA90ELA301C01A5000	ELEMENT: 90 Degree Elbow Long Radius (R=1.5D), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., -, -, -, ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9	
		90E	121	2 - 24	in	HA90ESA301C01A5000	ELEMENT: 90 Degree Elbow Short Radius (R=1D), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., -, -, -, ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9	

Buttwelding Fittings/Plastic Fittings						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
		BR90	1	2 - 24 / 2 - 24	in	HATE90A301C01A5000 ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
		CAP	1	2 - 24	in	HACAPSA301C01A5000 ELEMENT: Cap, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
		CRE	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HACREDA301C01A5000 ELEMENT: Concentric Reducer, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
		ERE	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HAEREDA301C01A5000 ELEMENT: Eccentric Reducer, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
		HCRO	1	2 - 24	in	HAHCROA301C01A5000 ELEMENT: Two Halfs of a Cross (For Jackets), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
		HT90	1	2 - 24	in	HAHT90A301C01A5000 ELEMENT: Two Halfs of a Tee (For Jackets), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
		RTE	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HART90A301C01A5000 ELEMENT: Reducing Tee 90 Degrees, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9

Buttwelding Fittings/Plastic Fittings						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
		TEE	1	2 - 24 / 2 - 24	in	HATE90A301C01A5000 ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB,, , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9

Olets						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
		BR90	1	2 - 24 / .5 - 1.5	in	HOSOKTA201D30D2000 ELEMENT: Socketlet - MATERIAL: ASTM A105,, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: MSS-SP-97
		BR90	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HOWOLTA201L00D2000 ELEMENT: Weldolet - MATERIAL: ASTM A105,, , , , , CLASS: - ENDS: Buttweld Ends STANDARD: MSS-SP-97
		SOK	1	2 - 24 / .5 - 1.5	in	HOSOKTA201D30D2000 ELEMENT: Socketlet - MATERIAL: ASTM A105,, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: MSS-SP-97
		WOL	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HOWOLTA201L00D2000 ELEMENT: Weldolet - MATERIAL: ASTM A105,, , , , , CLASS: - ENDS: Buttweld Ends STANDARD: MSS-SP-97



ANEXO B-Hojas de datos y planos

Miscellaneous						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
		BLI	1	10 - 24	in	ELEMENT: Blind Disc (Paddle Blind) MATERIAL: ASTM A516 Gr. 60, , , , , - CLASS: 150 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
		CST	1	.5 - 24	in	ELEMENT: Conical Strainer MATERIAL: ASTM A516 Gr. 60, , , , , . INTERNALS: 316 SS CLASS: 150 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
		F8	1	.5 - 8	in	ELEMENT: Spectacle Blind (Figure 8) MATERIAL: ASTM A516 Gr. 60, , , , , - CLASS: 150 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
		SPA	1	10 - 24	in	ELEMENT: Spacer Ring (Paddle Spacer) MATERIAL: ASTM A516 Gr. 60, , , , , - CLASS: 150 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
		TST	162	2 - 24	in	ELEMENT: Strainer "T" Buttwelding Ends for Liquids MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, , , , , . INTERNALS: 316 SS RATING: 150 ENDS: Buttwelding Ends, - STANDARD: FWI Std.
		YST	1	.5 - 1.5	in	ELEMENT: Strainer "Y" Female Ends MATERIAL: ASTM A105, , , , , . INTERNALS: 316 SS RATING: 800 ENDS: Socketweld Ends, - STANDARD: FWI Std.

Bolts						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
		BOL	1	.5 - 1.25	in	ELEMENT: Stud Bolt with 2 Heavy Hexagonal Nuts MATERIAL: ASTM A193 B7M / A194 Gr. 2HM DESIGN STANDARD: ASME B18.2.1/ B18.2.2

Gaskets						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
		GA3	1	.5 - 4	in	ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 316 / Graphite - C.Steel Center Ring, - RATING: 300 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
		GA3	1	6 - 24	in	ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 316 / Graphite - C.Steel Center Ring / 316 Inner Ring, - RATING: 300 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
		GA6	1	.5 - 4	in	ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 316 / Graphite - C.Steel Center Ring, - RATING: 600 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
		GA6	1	6 - 24	in	ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 316 / Graphite - C.Steel Center Ring / 316 Inner Ring, - RATING: 600 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
		GAS	1	.5 - 4	in	ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 316 / Graphite - C.Steel Center Ring, - RATING: 150 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
		GAS	1	6 - 24	in	ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 316 / Graphite - C.Steel Center Ring / 316 Inner Ring, - RATING: 150 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)

Assemblies						
Rev	CL-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
		D01	1	.5 - 1.5	in	Drain Assembly D01
		DP1	1	.75 - 1.5	in	Drip Pocket Assembly DP1
		DP4	1	2 - 6	in	Drip Pocket Assembly DP4



ANEXO B-Hojas de datos y planos

Assemblies						
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
		F01	1	5 - 5	in	HYORIF01 Orifice Connect. F01
		F1	1	.75 - .75	in	HYSTR1 Steam Trap F1
		F3	1	.75 - .75	in	HYSTR3 Steam Trap Assembly F3
		P01	1	.75 - .75	in	HYPRES01 Pressure Connection P01
		T01	1	1.5 - 1.5	in	HYTEMP01 Temperature Connection T01
		T02	1	1.5 - 1.5	in	HYTEMP02 Temperature Connection T02
		T1FB1	1	.5 - 24	in	HYBOLT02 Bolt Set Assembly 150 Between Flanges RF (B16.5-B16.47B)
		T1FB2	1	.5 - 24	in	HYBOLT05 Bolt Set Assembly 150 Between Flanges RF with Spectacle Blind (B16.5-B16.47B)
		T3FB1	1	.5 - 24	in	HYBOLT02 Bolt Set Assembly 300 Between Flanges RF (B16.5-B16.47B)
		T6FB1	1	.5 - 24	in	HYBOLTE02 Bolt Set Assembly 600 Between Flanges RF (B16.5-B16.47B)
		V01	1	.5 - 1.5	in	HYVENT01 Vent Connection V01


Notes :

- 2- "Y" STRAINER SHALL BE INSTALLED IN VERTICAL POSITION
- 3- THESE ELEMENTS SHALL BE USED AS SPECIFIED FOR BRANCH CONNECTIONS OR IN SPECIAL CASES
- 4- USE ONLY WHEN INDICATED IN FLOW DIAGRAM
- 5- FABRICATED AS PER STANDARD DRAWING ATTACHED TO THIS SPECIFICATION
- 6- USE ONLY WHEN INDICATED IN P&ID
- 7- BALL VALVES TO BE USED FOR TEMPERATURE LOWER THAN 175 °C

Branch Connection	
Branch.	1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 3" 4" 6" 8" 10" 12" 14" 16" 18" 20" 24"
Header	
1/2"	TE
3/4"	RT TE
1"	RT RT TE
1 1/2"	RT RT RT TE
2"	SO SO SO SO TE
3"	SO SO SO SO PP TE
4"	SO SO SO SO PP PP TE
6"	SO SO SO SO PP PP PP TE
8"	SO SO SO SO PP PP PP PP TE
10"	SO SO SO SO PP PP PP PP PP TE
12"	SO SO SO SO PP PP PP PP PP SP TE
14"	SO SO SO SO PP SP SP SP SP SP SP TE
16"	SO SO SO SO SP SP SP SP SP SP SP TE
18"	SO SO SO SO SP SP SP SP SP SP SP SP TE
20"	SO SO SO SO SP SP SP SP SP SP SP SP SP TE
24"	SO SO SO SO WO WO WO WO SP SP SP SP SP SP SP TE
PP	→ Pipe to Pipe (Welded)
RT	→ Reducing Tee 90 Degrees
SO	→ Sockolet
SP	→ Simple Pad Reinforcement
TE	→ Equal Tee 90 Degrees
WO	→ Weldolet



Project: [REDACTED]	Piping Material Classification	Spec Code: BA22	Rev: [REDACTED]
Description: Carbon Steel Rating: 300# C.A.=1.5 mm			

 TECNICAS REUNIDAS TR - ELEFSINA	Piping Material Classification		Project : 01990	
			Doc. No : HW-102-I	
			Rev. : 1	
SPECIFICATION: BA22				
Service	LP & MP STEAM, CONDENSATE, MP BOILER FEED WATER, PROCESS WITH HYDROGEN, CORROSION INHIBITOR			
Material	CS			
Rating	300 lbs			
Facing	RF			
Corrosion Allowance	1.5 mm			
Heat Treatment	-			
Design Code	ASME B31.3			
Gasket Allowance	3.2 mm			
	</			

PRESSURE - TEMPERATURE RATINGS

Temperature:	DegC	-29	38	50	100	150	200	250	300	325	350	375	400	425
Pressure:	kg/cm ²	52.1	52.1	51.09	47.52	46	44.66	42.73	40.58	39.46	38.34	37.11	35.38	29.37

SIZE - SCHEDULE RATINGS

Size:	0	.5	.75	1	1.5	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	30
Schedule:	0	S-160	S-160	S-160	S-160	S-80	S-40	S-40	S-40	S-30	S-30	S-STD	S-30	S-40	S-XS	S-40	S-40	CALC

Pipe						
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		NTD	1	5 - 1.5	in	HPNIPPA101104A1000 ELEMENT: Nipple 150 mm MATERIAL: ASTM A106 Gr. B, , , , , ENDS: Threaded One End STANDARD: ASME B36.10
R		PIP	1	5 - 1.5	in	HPPIPEA101101A1000 ELEMENT: Pipe Seamless MATERIAL: ASTM A106 Gr. B, , , , , ENDS: Plain Ends STANDARD: ASME B36.10
R		PIP	1	2 - 24	in	HPPIPEA101201A1000 ELEMENT: Pipe Seamless MATERIAL: ASTM A106 Gr. B, , , , , ENDS: Bevelled Ends STANDARD: ASME B36.10
R		PIP	1	26 - 30	in	HPPIPEA102202A1000 ELEMENT: Pipe Electric Fusion Welded 100% RX MATERIAL: ASTM A572 Gr. B65 Cl.22, , , , , ENDS: Bevelled Ends STANDARD: ASME B36.10

Valves						
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		BAL	1	5 - 1.5	in	HVBA40A201AF4M600701 ELEMENT: Ball Valve with 2 Nipples Long Pattern Reduced Bore MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 800 ENDS: With 2 nipples Plain End STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Lever Operated TRIM: 316 Ball/Stem PTFE Seats See Data Sheet
R		BAL	1	2 - 4	in	HVBA10A5012C4AG00701 ELEMENT: Ball Valve Flanged Ends Long Pattern Reduced Bore MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Lever Operated TRIM: 316 Ball/Stem PTFE Seats See Data Sheet

Valves						
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		BAL	1	6 - 24	in	HVBA10A5012C2AG00701 ELEMENT: Ball Valve Flanged Ends Long Pattern Reduced Bore MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Gear Operator TRIM: 316 Ball/Stem PTFE Seats See Data Sheet
R		CHE	1	5 - 1.5	in	HVCL30A2014F0M100801 ELEMENT: Lift Check Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: - TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		CHE	1	2 - 24	in	HVCA10A5012C0AG00801 ELEMENT: Swing Check Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: - TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		CHE	40	5 - 1.5	in	HVCL30A2014F0M100301 ELEMENT: Lift Check Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: - TRIM: No. 10 See Data Sheet
R		CHE	40	2 - 24	in	HVCA10A5012C0AG00301 ELEMENT: Swing Check Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, , , , , CLASS: 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: - TRIM: No. 10 See Data Sheet

Valves							
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description
R		GAT	1	5 - 1.5	in	HVGA30A2014F1M100801	ELEMENT: Gate Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, Class 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		GAT	1	2 - 8	in	HVGA10A5012C1AG00801	ELEMENT: Gate Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, Class 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		GAT	1	10 - 24	in	HVGA10A5012C2AG00801	ELEMENT: Gate Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, Class 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Gear Operator TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		GAT	23	5 - 1.5	in	HVGA10A2012C1AG00801	ELEMENT: Gate Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A105, Class 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		GAT	40	5 - 1.5	in	HVGA30A2014F1M100301	ELEMENT: Gate Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, Class 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Handwheel TRIM: No. 10 See Data Sheet

Valves							
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Commodity Code	Description
R		GAT	40	10 - 24	in	HVGA10A5012C1AG00301	ELEMENT: Gate Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, Class 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Handwheel TRIM: No. 10 See Data Sheet
R		GATX	1	5 - 1.5	in	HVGA60A201FF1M200801	ELEMENT: Gate Valve with Extended Body Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, Class 800 ENDS: BW / SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		GLO	1	5 - 1.5	in	HVLA30A2014F1M100801	ELEMENT: Globe Valve Female Ends Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, Class 800 ENDS: SW STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		GLO	1	2 - 8	in	HVLA10A5012C1AG00801	ELEMENT: Globe Valve Flanged Ends Long Pattern MATERIAL: ASTM A216 Gr. WCB, Class 300 ENDS: RF STANDARD: B16.10 OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet
R		GLOX	1	5 - 1.5	in	HVLA90A201HF1M200801	ELEMENT: Globe Valve Extended Body Reduced Port MATERIAL: ASTM A105, Class 800 ENDS: BW / THF STANDARD: Manufacturer Standard OPERATION: Handwheel TRIM: No. 8 See Data Sheet



ANEXO B-Hojas de datos y planos

Flanges						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		BLF	1	5 - 24	in	HFBLFLA2016C0A3000 ELEMENT: Blind Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
R		BLF	1	26 - 30	in	HFBLFLA2016C0A9000 ELEMENT: Blind Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.47 Serie B
R		FL5	797	5 - 1.5	in	HFSWFLA2018H0A3000 ELEMENT: Socket Weld Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 1500 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
R		FL5	797	2 - 2	in	HFWNFLA2017H0A3000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 1500 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
R		FL6	781	5 - 1.5	in	HFSWFLA2018E0A3000 ELEMENT: Socket Weld Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 600 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
R		FL6	781	2 - 24	in	HFWNFLA2017E0A3000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 600 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
R		FL9	789	3 - 24	in	HFWNFLA2017G0A3000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5

Flanges						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		FLG	1	5 - 1.5	in	HFSWFLA2018C0A3000 ELEMENT: Socket Weld Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
R		FLG	1	2 - 24	in	HFWNFLA2017C0A3000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.5
R		FLG	1	26 - 30	in	HFWNFLA2017B0A9000 ELEMENT: Welding Neck Flange MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 150 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.47 Serie B
R		ORI	1	1 - 24	in	HFOWTAA2019C2AK000 ELEMENT: Welding Neck Orifice Flange with 1/2" Threaded Taps MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 300 FACE TYPE: Raised Face - STANDARD: ASME B16.36

Forged Fittings						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		45E	1	5 - 1.5	in	HC45ELA201B30A4000 ELEMENT: 45 Degree Elbow Long Radius - MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
R		90E	1	5 - 1.5	in	HC90ELA201B30A4000 ELEMENT: 90 Degree Elbow - MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11

Forged Fittings						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
		BR90	1	.5 - 1.5 / .5 - 1.5	in	HCTE90A201B30A4000 ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
		BR90	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCRT90A201J30A4000 ELEMENT: Reducing Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
R		CAP	1	.5 - 1.5	in	HCCAPSA201B30A4000 ELEMENT: Cap - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
R		CAP	541	.5 - 1.5	in	HCCAPSA201420A4000 ELEMENT: Cap - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: 3000 ENDS: Threaded Female Ends STANDARD: ASME B16.11
R		CPL	1	.5 - 1.5	in	HCFCOPA201B30A4000 ELEMENT: Full Coupling - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
R		CSW	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCCSWGGA201301D3000 ELEMENT: Concentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, -, -, -, -, - ENDS: Plain Ends STANDARD: MSS-SP-95

Forged Fittings						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
R		CSW	1	2 - 3 / .5 - 1.5	in	HCCSWGGA201201D3000 ELEMENT: Concentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, -, -, -, -, - ENDS: Bevelled Large End/Plain Small End STANDARD: MSS-SP-95
R		ESW	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCESWGA201301D3000 ELEMENT: Eccentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, -, -, -, -, - ENDS: Plain Ends STANDARD: MSS-SP-95
R		ESW	1	2 - 3 / .5 - 1.5	in	HCESWGA201201D3000 ELEMENT: Eccentric Swage MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, Made from Seamless Pipe, -, -, -, -, - ENDS: Bevelled Large End/Plain Small End STANDARD: MSS-SP-95
R		PLU	1	.5 - 1.5	in	HCPLURA201300A4000 ELEMENT: Round Head Plug - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: - ENDS: Threaded Male Ends STANDARD: ASME B16.11
R		RTE	1	.75 - 1.5 / .5 - 1	in	HCRT90A201J30A4000 ELEMENT: Reducing Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11
R		TEE	1	.5 - 1.5 / .5 - 1.5	in	HCTE90A201B30A4000 ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees - MATERIAL: ASTM A105, -, -, -, -, - CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: ASME B16.11

Buttwelding Fittings/Plastic Fittings						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
R		45E	1	2 - 24	in	HA45ELA301C01A5000 ELEMENT: 45 Degree Elbow Long Radius (R=1.5D), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
R		90E	1	2 - 24	in	HA90ELA301C01A5000 ELEMENT: 90 Degree Elbow Long Radius (R=1.5D), Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
		BR90	1	2 - 24 / 2 - 24	in	HATE90A301C01A5000 ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
R		CAP	1	2 - 24	in	HACAPSA301C01A5000 ELEMENT: Cap, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
R		CRE	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HACREDA301C01A5000 ELEMENT: Concentric Reducer, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
R		ERE	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HAEREDA301C01A5000 ELEMENT: Eccentric Reducer, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9
R		RTE	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HART90A301C01A5000 ELEMENT: Reducing Tee 90 Degrees, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9

Buttwelding Fittings/Plastic Fittings						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
		TEE	1	2 - 24 / 2 - 24	in	HATE90A301C01A5000 ELEMENT: Equal Tee 90 Degrees, Seamless MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB., , , , , ENDS: Buttweld Ends CLASS: - STANDARD: ASME B16.9

Olets						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Note
R		BR45	1	2 - 24 / .5 - 1.5	in	HOLALTA201D30D2000 ELEMENT: Latrolet Female Ends - MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: MSS-SP-97
		BR90	1	2 - 24 / .5 - 1.5	in	HOSOKTA201D30D2000 ELEMENT: Socketlet - MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: MSS-SP-97
		BR90	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HOWOLTA201L00D2000 ELEMENT: Weldolet - MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: - ENDS: Buttweld Ends STANDARD: MSS-SP-97
R		LAT	1	2 - 24 / .5 - 1.5	in	HOLALTA201D30D2000 ELEMENT: Latrolet Female Ends - MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: MSS-SP-97
R		SOK	1	2 - 24 / .5 - 1.5	in	HOSOKTA201D30D2000 ELEMENT: Socketlet - MATERIAL: ASTM A105, , , , , CLASS: 6000 ENDS: Socket Weld Ends STANDARD: MSS-SP-97



ANEXO B-Hojas de datos y planos

Olets						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		WOL	1	3 - 24 / 2 - 20	in	HOWOLTA201L00D2000 ELEMENT: Weldolet - MATERIAL: ASTM A105, , , , , - CLASS: - ENDS: Buttweld Ends STANDARD: MSS-SP-97

Miscellaneous						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		BLI	1	8 - 24	in	HMBLINA4041C0F1000 ELEMENT: Blind Disc (Paddle Blind) MATERIAL: ASTM A516 Gr. 70, , , , , - CLASS: 300 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
R		CST	1	.5 - 24	in	HMCSTFA4041C2F1000 ELEMENT: Conical Strainer MATERIAL: ASTM A516 Gr. 70, , , , , - INTERNALS: 316 SS CLASS: 300 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
R		DRI	1	1 - 24	in	HMDRBTFA4041C2E5000 ELEMENT: Drip Ring .75 inches TH Tap MATERIAL: ASTM A516 Gr. 70, , , , , - 2 TAP CLASS: 300 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: SA4-3346
R		F8	1	.5 - 2	in	HMF8SFA4041E0F1000 ELEMENT: Spectacle Blind (Figure 8) MATERIAL: ASTM A516 Gr. 70, , , , , - CLASS: 600 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
R		F8	1	3 - 6	in	HMF8SFA4041C0F1000 ELEMENT: Spectacle Blind (Figure 8) MATERIAL: ASTM A516 Gr. 70, , , , , - CLASS: 300 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.
R		SPA	1	8 - 24	in	HMSPCA4041C0F1000 ELEMENT: Spacer Ring (Paddle Spacer) MATERIAL: ASTM A516 Gr. 70, , , , , - CLASS: 300 FACE TYPE: Flat Face - STANDARD: FWI Std.

Miscellaneous						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		TST	162	2 - 24	in	HMTLSBA3016C2F100001 ELEMENT: Strainer "T" Buttwelding Ends for Liquids MATERIAL: ASTM A234 Gr. WPB, , , , , - INTERNALS: 316 SS RATING: 300 ENDS: Buttwelding Ends, - STANDARD: FWI Std.
R		YST	1	.5 - 1.5	in	HMYSTTA2015F2F100001 ELEMENT: Strainer "Y" Female Ends MATERIAL: ASTM A105, , , , , - INTERNALS: 316 SS RATING: 800 ENDS: Socketweld Ends, - STANDARD: FWI Std.

Bolts						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		BOL	1	.5 - 1.5	in	HBSB2NR001002A7000 ELEMENT: Stud Bolt with 2 Heavy Hexagonal Nuts MATERIAL: ASTM A193 Gr.B7 / A194 Gr.2H DESIGN STANDARD: ASME B18.2.1/ B18.2.2

Gaskets						
Rev	CI-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		GA5	1	.5 - 2	in	HGSPWQG1031HGAA000 ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 304 / Graphite - C.Steel Center Ring / 304 Inner Ring, - RATING: 1500 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
R		GA6	1	.5 - 4	in	HGSPWQG1021EGAA000 ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 304 / Graphite - C.Steel Center Ring, - RATING: 600 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
R		GA6	1	6 - 24	in	HGSPWQG1031EGAA000 ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 304 / Graphite - C.Steel Center Ring / 304 Inner Ring, - RATING: 600 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)



ANEXO B-Hojas de datos y planos

Gaskets						
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		GA9	1	3 - 24	in	HGSPWGG1031CGAA000 ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 304 / Graphite - C.Steel Center Ring / 304 Inner Ring, - RATING: 900 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
R		GAS	1	.5 - 4	in	HGSPWGG1021CGAA000 ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 304 / Graphite - C.Steel Center Ring, - RATING: 300 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)
R		GAS	1	6 - 24	in	HGSPWGG1031CGAA000 ELEMENT: Spiral Wound Gasket MATERIAL: 304 / Graphite - C.Steel Center Ring / 304 Inner Ring, - RATING: 300 FACE TYPE: Between Flanges Raised Face - STANDARD: ASME B16.20 (Flanges as per ASME B16.5)

Assemblies						
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		D01	1	.5 - 1.5	in	HYDRAI01 Drain Assembly D01
R		DP1	1	.75 - 1.5	in	HYDRPO02 Drip Pocket Assembly DP1
R		DP2	1	1 - 1	in	HYDRPO03 Drip Pocket Assembly DP2
R		DP3	1	1.5 - 1.5	in	HYDRPO04 Drip Pocket Assembly DP3
R		DP4	1	2 - 2	in	HYDRPO05 Drip Pocket Assembly DP4
R		DP5	1	3 - 3	in	HYDRPO06 Drip Pocket Assembly DP5
R		DP6	1	4 - 4	in	HYDRPO07 Drip Pocket Assembly DP6
R		DP7	1	6 - 6	in	HYDRPO08 Drip Pocket Assembly DP7
R		F02	1	.5 - .5	in	HYORIF02 Orifice Connection F02
R		F1	1	.75 - .75	in	HYSTTR1 Steam Trap F1
R		F3	1	.75 - .75	in	HYSTTR3 Steam Trap Assembly F3

Assemblies						
Rev	Cl-Code	Short Code	Option	Diameter	Unit	Description
R		P01	1	.75 - .75	in	HYPRES01 Pressure Connection P01
R		T01	1	1.5 - 1.5	in	HYTEMP01 Temperature Connection T01
R		T02	1	1.5 - 1.5	in	HYTEMP02 Temperature Connection T02
R		T3FB1	1	.5 - 24	in	HYBOLTC02 Bolt Set Assembly 300 Between Flanges RF (B16.5-B16.47B)
R		T3FB2	1	.5 - 24	in	HYBOLTC05 Bolt Set Assembly 300 Between Flanges RF with Spectacle Blind (B16.5-B16.47B)
R		T6FB1	1	.5 - 24	in	HYBOLTE02 Bolt Set Assembly 600 Between Flanges RF (B16.5-B16.47B)
R		T6FB2	1	.5 - 24	in	HYBOLTE05 Bolt Set Assembly 600 Between Flanges RF with Spectacle Blind (B16.5-B16.47B)
R		T9FB1	1	.5 - 24	in	HYBOLTG02 Bolt Set Assembly 900 Between Flanges RF (B16.5-B16.47B)
R		V01	1	.5 - 1.5	in	HYVENT01 Vent Connection V01

Notes :

- 2- "Y" STRAINER SHALL BE INSTALLED IN VERTICAL POSITION
- 3- THESE ELEMENTS SHALL BE USED AS SPECIFIED FOR BRANCH CONNECTIONS OR IN SPECIAL CASES
- 4- USE ONLY WHEN INDICATED IN FLOW DIAGRAM
- 5- FABRICATED AS PER STANDARD DRAWING ATTACHED TO THIS SPECIFICATION
- 6- USE ONLY WHEN INDICATED IN P&ID
- 7- BALL VALVES TO BE USED FOR TEMPERATURE LOWER THAN 175 °C

Branch Connection	
Branch.	1/2" 3/4" 1" 1 1/2" 2" 3" 4" 6" 8" 10" 12" 14" 16" 18" 20" 24"
Header	
1/2"	TE
3/4"	RT TE
1"	RT RT TE
1 1/2"	RT RT RT TE
2"	SO SO SO SO TE
3"	SO SO SO SO PP TE
4"	SO SO SO SO PP PP TE
6"	SO SO SO SO WO WO WO TE
8"	SO SO SO SO SP SP SP SP TE
10"	SO SO SO SO SP SP SP SP TE
12"	SO SO SO SO WO WO WO WO SP SP TE
14"	SO SO SO SO WO WO WO WO SP SP SP TE
16"	SO SO SO SO WO WO WO WO SP SP WO TE
18"	SO SO SO SO WO WO WO WO SP SP WO TE
20"	SO SO SO SO WO WO WO WO SP SP WO TE
24"	SO SO SO SO WO WO WO WO SP SP WO TE

PP	→	Pipe to Pipe (Welded)
RT	→	Reducing Tee 90 Degrees
SO	→	Socket
SP	→	Simple Pad Reinforcement
TE	→	Equal Tee 90 Degrees
WO	→	Weldolet



VAD

Variable Annulus Desuperheater



SPX®

Description

The VAD is a cost effective, line size desuperheater. Produced from stock materials it is readily available to satisfy general desuperheating and gas cooling applications. Essentially a dynamically contoured, stainless steel spray head concentrically located within a short section of pipe (body). The pipe acts as the desuperheater's outer body and pressure boundary. It fits into the main vapor line via either line size flanged or butt weld end connections for easy installation.

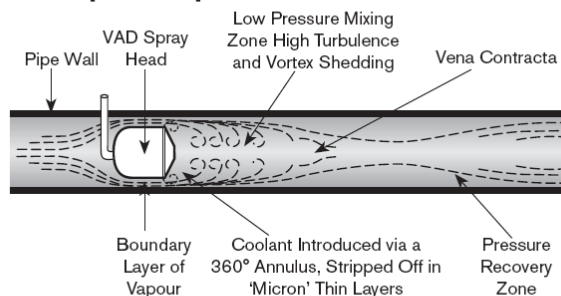
Principle of Operation

The approach contour of the spray head guides and accelerates the superheated vapor to a restricted area between the spray head and the inner wall of the pipe. This restricted area causes an increase in velocity accompanied by a slight reduction in pressure. The coolant is introduced at this point and undergoes an instant increase in velocity and simultaneous decrease in pressure that is instrumental in causing the coolant to vaporize into a micron thin layer which is stripped off the edge of the spray head by the high velocity vapor and propelled downstream. Stripping action by the accelerated vapor acts as a barrier preventing impingement of the vaporized coolant against the inner wall of the pipe.

The contoured shape of the downstream face of the spray head results in a vortex zone being created into which any unabsorbed coolant is drawn. Here it experiences a further reduction in pressure and an extremely turbulent flow regime inducing an additional evaporation mechanism. The desuperheated vapor velocity then rapidly decreases and, due to the venturi principle, its pressure virtually returns to that upstream of the spray head.

As the coolant is introduced into the vapor at a low pressure zone, there is no requirement with this device for excessive superior pressure. Unlike other fixed area Venturi desuperheaters, the VAD's coolant injection annulus is infinitely variable. A self-regulating feature guarantees a full 360° circumferential introduction of coolant into the vapor stream even at low flow conditions.

Principle of Operation



Features

- Temperature control to within 10°F (5°C) of saturation
- Horizontal or vertical installation
- High rangeability 15:1
- Coolant pressure need only be 7 psi (48 kPa) superior to vapor
- Self-regulating 360° coolant annulus for uniform distribution
- No spray nozzles to introduce blockage concerns
- Full atomization over entire operating range
- Minimal vapor side pressure drop
- No thermal liners required
- Butt weld or flanged to ANSI 150, 300, 600 or DIN PN10, 16, 40, 64, 100

Standard materials:

Body ASTM A106 Gr. B carbon steel, Spray head ASTM A312 TP316 stainless steel

Installation and Operation

The VAD can be installed in either horizontal or vertical lines. For straight pipe line lengths and distance to temperature sensing elements, refer to the typical installation diagram on page 4.

The coolant pressure needs to be only 7 psi (48 kPa) superior to the vapor line pressure. The coolant flow is regulated by the Copes-Vulcan performance matched control valve and can be fitted with our unique Cascade trim, specifically designed to meet the precise control and rangeability of desuperheating and gas cooling applications.

No thermal liners are required as the coolant is aspirated into the vapor stream rather than sprayed, and the high velocity vapor provides an effective thermal boundary layer to the pipe wall.

Weights

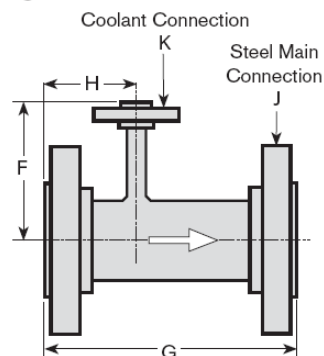
Flanged

Size	Lbs/Kg		
	ANSI 150 PN10/PN16	ANSI 300 PN40/PN64	ANSI 600 PN100
1.00" 25mm	4 2	7 3	9 4
1.25" 32mm	7 3	9 4	11 5
1.50" 40mm	9 4	13 6	15 7
2.00" 50mm	13 6	18 8	20 9
2.50" 65mm	20 9	26 12	29 13
3.00" 80mm	26 12	37 17	42 19
4.00" 100mm	40 18	60 27	82 37
5.00" 125mm	51 23	79 36	135 61
6.00" 150mm	71 32	110 50	170 77
8.00" 200mm	132 60	187 85	276 125
10.00" 250mm	198 90	287 130	441 200
12.00" 300mm	298 135	397 180	551 250
14.00" 350mm	474 215	639 290	772 350
16.00" 400mm	662 300	860 390	1103 500

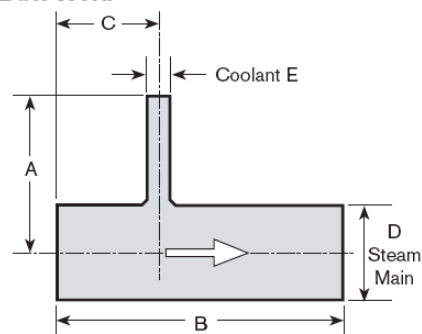
Butt Weld

Size	Lbs/Kg
1.00" 25mm	1 0.4
1.25" 32mm	1 0.6
1.50" 40mm	2 1.0
2.00" 50mm	4 1.6
2.50" 65mm	6 2.5
3.00" 80mm	9 4.0
4.00" 100mm	13 6.0
5.00" 125mm	22 10.0
6.00" 150mm	35 16.0
8.00" 200mm	75 34.0
10.00" 250mm	119 54.0
12.00" 300mm	170 77.0
14.00" 350mm	309 140.0
16.00" 400mm	463 210.0

Flanged



Butt Weld



Dimensions

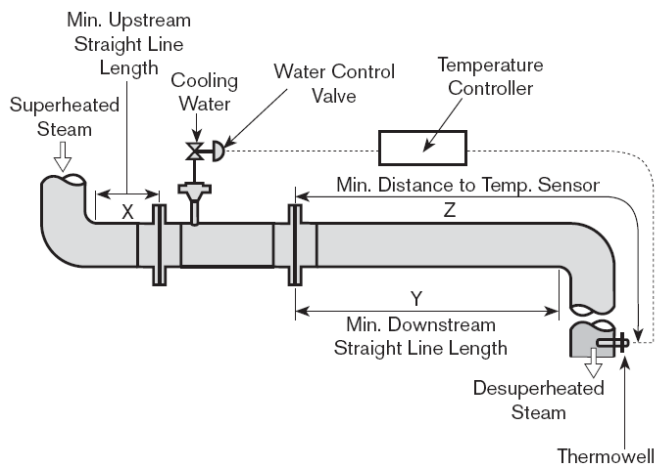
Flanged

Size	F	G	H	J Flange ANSI (in) DN	K Flange ANSI (in) DN
1.00" 25mm	3.00" 76mm	6.00" 152mm	2.50" 64mm	1.00" 25mm	1/8 NPT
1.25" 32mm	3.25" 83mm	6.00" 152mm	2.50" 64mm	1.25" 32mm	1/4 NPT
1.50" 40mm	3.69" 94mm	7.00" 178mm	3.50" 89mm	1.50" 40mm	3/8 NPT
2.00" 50mm	3.88" 99mm	8.00" 203mm	3.50" 89mm	2.00" 50mm	3/8 NPT
2.50" 65mm	4.00" 102mm	8.00" 203mm	3.50" 89mm	2.50" 65mm	3/8 NPT
3.00" 80mm	6.00" 152mm	10.00" 254mm	4.00" 102mm	3.00" 80mm	5" 15mm
4.00" 100mm	7.50" 191mm	11.00" 279mm	5.00" 128mm	4.00" 100mm	.75" 20mm
5.00" 125mm	8.00" 203mm	13.00" 330mm	6.00" 153mm	5.00" 125mm	.75" 20mm
6.00" 150mm	9.00" 229mm	15.00" 381mm	6.00" 153mm	6.00" 150mm	1.00" 25mm
8.00" 200mm	10.00" 254mm	16.00" 406mm	6.00" 153mm	8.00" 200mm	1.00" 25mm
10.00" 250mm	13.00" 330mm	19.00" 483mm	8.00" 204mm	10.00" 250mm	1.50" 40mm
12.00" 300mm	14.00" 356mm	21.00" 533mm	8.50" 217mm	12.00" 300mm	1.50" 40mm
14.00" 350mm	16.00" 406mm	24.00" 610mm	9.00" 230mm	14.00" 350mm	1.50" 40mm
16.00" 400mm	17.00" 432mm	27.00" 686mm	10.00" 255mm	16.00" 400mm	1.50" 40mm

Butt Weld

D		A	B	C	E	
Size	Sched.				Size	Sched.
1.00" 25mm	40	3.00" 76mm	5.50" 140mm	2.25" 57mm	0.12" 6mm	40
1.25" 32mm	40	3.25" 83mm	5.50" 140mm	2.25" 57mm	0.25" 8mm	40
1.50" 40mm	40	3.69" 94mm	6.50" 165mm	3.25" 83mm	0.38" 10mm	40
2.00" 50mm	40	3.88" 99mm	7.50" 191mm	3.25" 83mm	0.38" 10mm	40
2.50" 65mm	40	4.00" 102mm	7.50" 191mm	3.25" 83mm	0.38" 10mm	40
3.00" 80mm	40	5.75" 146mm	9.50" 241mm	3.75" 96mm	0.50" 15mm	40
4.00" 100mm	40	7.25" 184mm	10.50" 267mm	4.75" 121mm	0.75" 20mm	40
5.00" 125mm	40	7.75" 197mm	12.50" 318mm	5.75" 147mm	0.75" 20mm	40
6.00" 150mm	40	8.75" 222mm	14.50" 368mm	5.75" 147mm	1.00" 25mm	40
8.00" 200mm	80	9.75" 248mm	15.00" 381mm	5.75" 147mm	1.00" 25mm	40
10.00" 250mm	80	12.75" 324mm	18.00" 457mm	7.50" 191mm	1.50" 40mm	40
12.00" 300mm	80	13.75" 349mm	19.50" 495mm	7.75" 198mm	1.50" 40mm	40
14.00" 350mm	80	15.75" 400mm	22.50" 572mm	8.25" 210mm	1.50" 40mm	40
16.00" 400mm	80	16.75" 425mm	25.50" 648mm	9.25" 236mm	1.50" 40mm	40

Typical Installation



Size	Minimum Upstream Straight Line Length (X)	Minimum Downstream Straight Line Length (Y)	Minimum Distance to Temperature Sensor (Z)
1.00" 25mm	.75' 0.2m	10' 3m	20' 6m
1.25" 32mm	.75' 0.2m	10' 3m	20' 6m
1.50" 40mm	.75' 0.2m	10' 3m	20' 6m
2.00" 50mm	1' 0.3m	10' 3m	20' 6m
2.50" 65mm	1.5' 0.4m	10' 3m	20' 6m
3.00" 80mm	1.5' 0.4m	13' 4m	26' 8m
4.00" 100mm	1.75' 0.5m	13' 4m	26' 8m
5.00" 125mm	2.5' 0.7m	13' 4m	26' 8m
6.00" 150mm	2.75' 0.8m	13' 4m	26' 8m
8.00" 200mm	3.25' 1.0m	16.5' 5m	33' 10m
10.00" 250mm	4' 1.2m	16.5' 5m	33' 10m
12.00" 300mm	5' 1.5m	16.5' 5m	33' 10m
14.00" 350mm	6' 1.8m	16.5' 5m	33' 10m
16.00" 400mm	6.5' 2.0m	16.5' 5m	33' 10m

SPX
FLOW CONTROL

Your local contact:

SPX Flow Control
5620 West Rd.
McKean, PA 16426
Phone: (814)476-5800 Fax: (814)476-5854
E-mail: cv@spx.com

For more information about our worldwide locations, approvals, certifications, and local representatives, please visit www.spxfc.com.

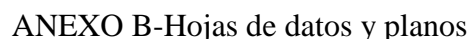
SPX Corporation reserves the right to incorporate our latest design and material changes without notice or obligation. Design features, materials of construction and dimensional data, as described in this bulletin, are provided for your information only and should not be relied upon unless confirmed in writing.

Issued: 10/2008 CV-1162

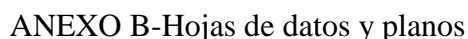
Copyright © 2008 SPX Corporation



VAD DESUPERHEATER SPECIFICATION SHEET																			
<div>Customer Name: [REDACTED] Customer Inquiry: [REDACTED] Customer PO: [REDACTED] Ultimate User: [REDACTED] Tag: 36-DS-001 A Application: LP Steam Desuperheater</div> <div>CV Inquiry: [REDACTED] CV Job: [REDACTED] CV Ref: [REDACTED] CV Serial #: [REDACTED] Item: [REDACTED] Quantity: 1</div>																			
<div>Design Pressure: 7.3 kg/cm² Design Temperature: 270 deg C Inlet Steam Pipe Size and Schedule: 18" Sch 10 TR P&ID Reference: 01990-36-50-003/005 Inlet Line Designation: 18"-LS-360342-AA22 18"-LS-360542-AA22</div>	<table border="1"><thead><tr><th>Cond</th><th>Coolant Press Reqd @ VAD kg/cm²</th><th>Water Valve Prelim Cv</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>4.04</td><td>0.138</td></tr><tr><td>2</td><td>5.04</td><td>0.237</td></tr><tr><td>3</td><td>6.06</td><td>0.567</td></tr><tr><td>4</td><td>4.07</td><td>0.598</td></tr><tr><td>5</td><td>4.03</td><td>0.053</td></tr></tbody></table>	Cond	Coolant Press Reqd @ VAD kg/cm ²	Water Valve Prelim Cv	1	4.04	0.138	2	5.04	0.237	3	6.06	0.567	4	4.07	0.598	5	4.03	0.053
Cond	Coolant Press Reqd @ VAD kg/cm ²	Water Valve Prelim Cv																	
1	4.04	0.138																	
2	5.04	0.237																	
3	6.06	0.567																	
4	4.07	0.598																	
5	4.03	0.053																	
<div>Description: 16/16" VAD Pressure Class: ANSI 150 Body Material: ASTM A-106 GrB Inlet Connection: 16" Flanged ANSI 150 Serrated RF Outlet Connection: 16" Flanged ANSI 150 Serrated RF Coolant Connection: 1.5" Flanged ANSI 150 Serrated RF Maximum Steam Pressure Drop: 0.162 kg/cm².g Maximum Required Capacity: 26217 kg/hr Maximum Available Capacity (1/3rd Sonic @ Annulus): 39010 kg/hr Minimum Distance Required to temp Sensor: 32.9 ft (10.0 m) Minimum Length of Straight Upstream Pipe: 6.5 ft (2 m) Minimum Length of Straight Downstream Pipe: 16.5 ft (5.0 m) Thermal Liner: Not Required</div> <div>Applicable Design Codes: ASME Section VIII div.1 PED 97/23/EC</div> <div>Corrosion Allowance: Carbon Steel - 3mm</div>																			
COMMENTS COND 5 = 40% TURNDOWN CASE OF COND 1 Refer to Installation Guidelines - GN-09																			
Selection Mode: Manual																			
<div>Rev</div>	<div>Initials</div>	<div>Description</div>	<div>Date</div>																
Program Rev Level:																			



Atemperadores de contacto directo



Atemperadores de contacto directo

